

Manutenção Baseada na Condição na Tabaqueira, E.I.T

Ana Marta Viseu da Conceição

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Armando Leitão

Orientador na *Philip Morris International*/Tabaqueira: Eng.º José Pauleta



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2013-07-25

*Coming together is a beginning;
Keeping together is progress;
Working together is success.*

-Henry Ford-

Resumo

No quadro complexo e competitivo atualmente vivido pelas empresas industriais, a inovação e a melhoria contínua têm que fazer parte do dia-a-dia destas organizações, inclusivamente no departamento de Manutenção. A manutenção baseada na condição tem-se revelado uma grande aposta das empresas para diminuir interrupções não programadas de equipamentos, ajustar planos de manutenção preventiva e conhecer a sua condição física. Este tipo de manutenção necessita de aparelhos de monitorização, tais como medidor de vibrações e a câmara termográfica. O elevado custo deste tipo de aparelhos, aliado à exigência de recursos com conhecimentos teóricos e consequente necessidade de aposta na formação, pode levar a que muitas empresas recuem na implementação desta manutenção.

Na Tabaqueira, E.I.T, empresa multinacional, era recorrente a contratação de empresas especializadas para monitorizar alguns equipamentos com elevados custos associados. Neste tipo de empresas aposta-se fortemente na redução de desperdício e na redução de custos de modo a torná-la mais competitiva. É precisamente com base nesta situação que o projeto é desenvolvido com o objetivo de estudar, desenvolver e implementar a manutenção baseada na condição em equipamentos industriais.

Inicialmente surgiu a necessidade de levar a cabo uma pesquisa e análise dos equipamentos com base em critérios de seleção: criticidade do equipamento em relação ao processo e ao número de avarias (com base no historial do número de intervenções).

Partindo de uma análise exaustiva dos critérios de seleção foi possível definir dentro dos equipamentos os componentes aos quais se deve fazer uma monitorização. Desenvolveram-se posteriormente procedimentos de análises de vibrações e termografia. Para tal criaram-se instruções de funcionamento para a correta utilização dos aparelhos de monitorização, uniformizando o processo.

Com o objetivo de avaliar e classificar os equipamentos foram analisadas diferentes normas ISO e informações técnicas. Esta classificação é fundamental para compreender e determinar o estado atual do equipamento, verificando-se se tem ou não um funcionamento correto e a eventual necessidade de intervenção.

Realizaram-se medições a ventiladores, secadores, máquinas de corte e a quadros elétricos, onde se avaliou a condição de cada equipamento e posteriormente fez-se um relatório para cada análise. Após todas as medições feitas e respetivas avaliações, definiram-se datas para a manutenção condicionada ser realizada em concordância com a manutenção preventiva já existente. Com o projeto verificou-se uma redução aproximadamente de 18% do tempo destinado à manutenção preventiva. Com a implementação deste novo tipo de manutenção, surgem vantagens quer a nível de ocupação dos técnicos, na vida útil dos equipamentos e consequentemente da fiabilidade.

Como conclusão de todo o procedimento descrito, construiu-se o processo de manutenção baseada na condição, porém, é necessário relembrar que a indústria, equipamentos e respetivas abordagens estão em constante mudança, sendo que, a melhoria contínua não pode ser esquecida e deve sempre procurar obter os melhores resultados possíveis.

Condition Based Maintenance

Abstract

In the complex and competitive framework experienced by industrial companies nowadays, innovation and continuous improvement have to be part of these organizations' day-to-day', including the Maintenance department. The condition based maintenance has proven to be a great choice by companies to reduce non-programmed interruptions of equipments, to adjust plans of preventive maintenance and to know its physical condition. This type of maintenance needs monitoring devices, such as vibration measurer and thermography. The high cost of such devices, combined with the demand of resources with theoretical knowledge and consequent need to increase training, may lead to the retreat of many companies concerning the implementation of this maintenance.

In Tabaqueira, E.I.T, a multinational company, specialized companies were frequently hired to monitor some equipments associated with a high cost. These types of companies are strongly committed to reducing waste and expenses, in order to make it more competitive. It is based in this situation precisely that the project is developed, with the goal of studying, developing and implementing condition based maintenance in industrial equipments.

Initially it was felt the need to carry out a research and analysis of equipment based on selection criteria: criticism of equipment concerning the process and the number of failures (based on the track record of the number of interventions).

Departing from an exhaustive analysis of the selection criteria, it was possible to define which components, within the equipments, should be monitored. Posteriorly, vibration analysis and thermography procedures were developed. To that end, operating instructions were created for a correct use of monitoring devices, standardizing the process.

Different ISO standards and technical information were analyzed in order to evaluate and classify the equipments. This classification is fundamental to understand and determine the current state of the equipment, checking how it is working and an eventual need for intervention.

Measurements of fans, dryers, cutting machines and electrical panels were conducted, in which each equipment condition was evaluated and later a report was made for each analysis. After all measurements and correspondent evaluations were held, the dates for the conditioned maintenance execution were established in agreement with the already planned preventive maintenance. With the project, there was a reduction of approximately 18% of the time intended for preventive maintenance. With the implementation of this new type of maintenance, there are advantages both concerning technicians occupation, and in the useful life of equipment and their reliability.

In conclusion of all the described procedure, a process of condition based maintenance was created, however, it is essential to remind that the industry, equipments and correspondent approaches are constantly changing and that continuous improvement can't be overlooked and must seek to obtain the best results possible.

Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento dirige-se ao Manuel A.V.G pela oportunidade que me deu para realizar este projeto na empresa. Agradeço também pelo seu apoio e confiança. Agradeço ao meu orientador, José Pauleta, por todo o apoio, simpatia, confiança, pelos desafios que me colocou e por acreditar no meu projeto e nas minhas capacidades de o executar. Ao Rogério, por todo o conhecimento e confiança que me transmitiu, por todo o apoio, simpatia e disponibilidade um enorme obrigado e espero um dia voltar a ter o prazer de trabalhar contigo. Ao Pirralho, Monteiro, Paulo e Lucas pela companhia, carinho, apoio, transmissão de conhecimentos e pelos nossos almoços na cantina que era uma das melhores partes do meu dia. Ao Diogo, Nuno, Manuel Teixeira e Luís Cargaleiro pela simpatia e disponibilidade que sempre demonstraram. Um grande agradecimento aos dois supervisores de manutenção, Horta e Simões, pela simpatia, pela transmissão de conhecimentos e por estarem sempre dispostos a ajudar. Não posso deixar de agradecer aos técnicos que sempre se mostraram disponíveis para me ajudar e principalmente por estarem dispostos a aceitar novos desafios. Sem toda a ajuda destas pessoas o meu projeto seria impossível de se realizar, por isso tudo, um muito obrigado.

Ao meu orientador da faculdade, Armado Leitão, por todo o apoio, disponibilidade, pela confiança e conhecimentos que me transmitiu, agradeço. Ao Professor Dias Rodrigues por me ajudar e por se demonstrar disponível quando tive dúvidas.

Agradeço aos meus pais por todo o apoio, carinho, simpatia, confiança e paciência pelas situações mais difíceis que tive que ultrapassar. À minha irmã que é a minha melhor amiga e que sempre me apoiou e esteve sempre comigo nos momentos altos e baixos, um muito obrigado. À minha avó, padrinhos, tios e primos por todo o carinho e apoio. Dedico este projeto e o meu futuro sucesso à minha família, porque sem vocês nada seria possível.

Por último um grande agradecimento a todos os meus amigos por todo o apoio, carinho, amizade e por me ensinarem a ser uma pessoa melhor ao longo de todos estes anos. Em primeiro lugar não posso deixar de agradecer à Rita Costa pela paciência, amizade e dedicação para comigo, um muito obrigado. Em especial agradeço à Helena Falcão, Joana Almeida, Teresa Afonso, Gonçalo Bernardo, Sara França, Inês Machado, Eduardo Barbosa, Clara Ferreira, Luís Macedo, Joana Marrucho, Tomás Alves, João Teles, Joana Teixeira, Tiago Godinho, Catarina Spratley, João Nogueira, Pedro Noronha, Carlos Vieira, Diogo Moura e Eduardo Moreira. Aos meus grandes amigos Jessica Jesus, Pedro Tomás, Daniel Silva por todo o carinho, apoio, paciência e por sempre estarem comigo mesmo eu estando longe, um muito obrigado e sei que os vou levar para a vida.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram um muito obrigado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1.	Tabaqueira, E.I.T.	1
1.1.1.	Apresentação da empresa.....	1
1.1.2.	Secção do Primário	2
1.2.	Manutenção baseada na condição na Tabaqueira, E.I.T.	3
1.3.	Metodologia.....	3
1.4.	Organização da Dissertação	4
2	Manutenção – Enquadramento teórico	5
2.1.	Manutenção Industrial.....	5
2.1.1.	Missão da manutenção.....	5
2.1.2.	Contextualização histórica	6
2.2.	Tipos de manutenção.....	6
2.2.1.	Manutenção Planeada	7
2.2.2.	Manutenção Não Planeada	8
2.3.	Indicadores de desempenho	8
2.3.1.	Taxa de Avarias (λ).....	8
2.3.2.	MTBF	10
2.3.3.	MTTR.....	10
2.3.4.	Disponibilidade	10
2.4.	Custos da manutenção	11
3	Manutenção Baseada na Condição	13
3.1.	Conceito.....	13
3.2.	Vantagens e Desvantagens	15
3.3.	Técnicas de monitorização.....	16
3.3.1.	Análise de Vibrações	16
3.3.2.	Análise Termográfica	24
4	Enquadramento do projeto.....	29
4.1.	Caracterização da secção.....	29
4.2.	Manutenção na secção	29
4.2.1.	Aplicação da manutenção baseada na condição.....	31
5	Desenvolvimento do projeto.....	33
5.1.	Definição dos critérios de seleção.....	33
5.2.	Procedimentos	34
5.2.1.	Procedimento de análise de vibrações	34
5.2.2.	Procedimento de termografia.....	38
5.3.	Utilização dos equipamentos de monitorização da condição	41
5.3.1.	Instrução de funcionamento para os equipamentos de medição.....	42
5.4.	Análise de dados.....	42
5.4.1.	Análise de Vibrações	42
5.4.2.	Análise Termográfica	46
5.5.	Base de Dados.....	50
5.6.	Planeamento da manutenção condicionada	51
5.7.	Melhoria dos tempos de preventiva	52
6	Conclusões.....	55
6.1.	Considerações finais.....	55

6.2. Trabalhos futuros	56
7 Referências	57
ANEXO A: Procedimentos	59
ANEXO B: Relatório Análise de Vibrações	66
ANEXO C: Relatório de Termografia	67
ANEXO D: Instrução de funcionamento dos equipamentos de medição	68
ANEXO E: Instruções de trabalho para análise de vibrações e termografia	72
ANEXO F: Gráficos obtidos com a análise de vibrações	77
ANEXO G: Imagens obtidas com termografia	83
ANEXO H: Folha de Inspeções	85
ANEXO I: Base de Dados	86

Siglas

BBS – *Basic Blend Strips*

BPI – *Frequência de falha na pista interior*

BPO – *Frequência de falha na pista exterior*

BS – *Frequência de falha no elemento rolante*

FFT – *Fast Fourier Transformation*

FT – *Frequência de falha na gaiola*

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean time To Repair*

PMI – *Philip Morris International*

RMS – *Route Mean Square*

SAP – *System Applications and Products*

TPM – *Third Party Manufactures*

Índice de Figuras

Figura 1 Fábrica da Tabaqueira, E.I.T.....	1
Figura 2 Organigrama da empresa Tabaqueira, E.I.T.	2
Figura 3 Esquema de metodologia aplicada.....	3
Figura 4 Evolução da Manutenção	6
Figura 5 Tipos de manutenção.....	6
Figura 6 Curva da banheira	9
Figura 7 <i>Iceberg</i> de custos.....	11
Figura 8 Curva de falha potencial (Telang & Telang, 2010).....	14
Figura 9 Fases de implementação da manutenção baseada na condição (adaptado de Cabral, 2004).....	15
Figura 10 Representação Nível Global de Vibração (Spamer, 2009)	17
Figura 11 Norma ISO 10816, <i>Small Machines</i> (ISO 10816, 1998)	19
Figura 12 Pontos de medição no conjunto ventilador motor com correia de transmissão	20
Figura 13 Esquema desalinhamento angular (Spamer, 2009)	21
Figura 14 Esquema de desalinhamento paralelo (Spamer, 2009)	22
Figura 15 Espectro eletromagnético. [1] Raio X; [2] Ultravioleta; [3] Visível; [4] Infravermelhos; [5] Microondas; [6] Ondas radioelétricas	25
Figura 16 Aplicação da manutenção condicionada	31
Figura 17 "Árvore" do <i>software</i>	35
Figura 18 Conversores sobreaquecidos	40
Figura 19 Imagem isotérmica.....	40
Figura 20 (a) Medidor de vibrações. (b) câmara termográfica.....	41
Figura 21 Conversor: imagem térmica e imagem digital	46
Figura 22 Motor A-M7	47
Figura 23 Integrais nos quadros elétricos	48
Figura 24 Correia de transmissão	49
Figura 25 Motor zona E.....	49

Índice de Tabelas

Tabela 1 Tecnologias de controlo de medição e suas aplicações	14
Tabela 2 Ações recomendadas em função da diferença de temperaturas (NETA, 1999)	27
Tabela 3 Tipos de ordens da manutenção na empresa.....	30
Tabela 4 Graus de severidade (www.miit.pt)	38
Tabela 5 Análise de resultados da zona A	43
Tabela 6 Análise de resultados da zona B	44
Tabela 7 Análise de resultados da zona C	44
Tabela 8 Análise de resultados da zona D	45
Tabela 9 Análise de resultados da zona I	45
Tabela 10 Dados correspondentes à Figura 21	46
Tabela 11 Dados relativos à Figura 22	47
Tabela 12 Dados relativos à Figura 23	48
Tabela 13 Dados relativos à Figura 24	49
Tabela 14 Dados relativos à Figura 25	50
Tabela 15 Planeamento da condicionada	51

Índice de Equações

Equação 1 Derivada do número esperado de avarias	9
Equação 2 Fórmula de cálculo da taxa de avarias	9
Equação 3 Fórmula de cálculo do indicador MTBF.....	10
Equação 4 Fórmula de cálculo do indicador MTTR	10
Equação 5 Fórmula de cálculo da disponibilidade	10
Equação 6 Velocidade de propagação da onda	24
Equação 7 Lei de Stephan-Boltzmann.....	25
Equação 8 Equação da Lei de Wien	26

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Condição dos rolamentos, na unidade 'g' RMS (obtido através do programa <i>SpectraPro</i>).....	19
Gráfico 2 Espectro com evidência de desequilíbrio no rotor (Spamer, 2009)	21
Gráfico 3 Espectro com indicação de desalinhamento angular (Spamer, 2009).....	21
Gráfico 4 Espectro com evidência de desalinhamento paralelo (Spamer, 2009).....	22
Gráfico 5 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas na placa de base (Spamer, 2009)	22
Gráfico 6 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas do tipo II (Spamer, 2009)	23
Gráfico 7 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas do tipo III (Spamer, 2009)	23
Gráfico 8 Espectro característico de Falha de Rolamento (Spamer, 2009).....	24
Gráfico 9 Número de intervenções PM01 em 2012	33
Gráfico 10 Tendência de vibração do equipamento (A- zona verde; B – zona amarela; C- zona vermelha).....	36
Gráfico 11 Espectro de frequências.....	37
Gráfico 12 Comparação manutenção preventiva com condicionada	52
Gráfico 13 Redução de preventiva com implementação da condicionada.....	53

1 Introdução

O presente projeto foi concebido no âmbito do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção Gestão da Produção, em que a autora desenvolveu o projeto curricular na empresa Tabaqueira, E.I.T que tem como objetivo implementação da manutenção baseada na condição.

1.1. Tabaqueira, E.I.T.

1.1.1. Apresentação da empresa



Figura 1 Fábrica da Tabaqueira, E.I.T

A origem da Tabaqueira remonta a 1927, fundada pelo empresário Alfredo da Silva, ano em que foram criadas a Tabaqueira e a Companhia Portuguesa de Tabacos. As duas empresas uniram-se e criam a INTAR- Empresa Industrial de Tabacos, SARL no ano de 1976. Repare-se que em 1991 a Tabaqueira – Empresa Industrial de Tabacos, EP passa a sociedade anónima sendo que em Maio de 1999 passa a denominar-se TABAQUEIRA, tendo por objeto o cultivo, a indústria e o comércio de tabacos e produtos afins.

Em 1997 com a privatização e a integração na *Philip Morris International*, a Tabaqueira, E.I.T, conseguiu iniciar um plano que lhe proporcionou não só o abastecimento do mercado Nacional, mas também a exportação para diversos países. Desde 2008, a Tabaqueira, E.I.T está organizada em duas “empresas – irmãs”, a Tabaqueira – Empresa Industrial de Tabacos, E.I.T e a Tabaqueira II, E.I.T, sendo a primeira responsável pela produção de cigarros e produtos afins e a segunda pela sua comercialização no mercado português (continente, Madeira e Açores).

Atualmente, a Tabaqueira produz e comercializa marcas como *SG*, *Marlboro*, *L&M* e *Chesterfield*. Esta tem uma produção anual que já atingiu os 25 mil milhões de cigarros. A Tabaqueira exporta mais de metade da sua produção anual para comercialização em mais de 35 mercados, como França, Itália, Reino Unido e Espanha.

A fábrica de Albarraque é um dos maiores centros de produção da *Philip Morris International*, Inc. na União Europeia, empregando a Tabaqueira cerca de 600 trabalhadores. A estrutura da Tabaqueira está representada na Figura 2. O processo é composto por duas fases: o primário, responsável pelo tratamento da folha de tabaco, e o secundário, onde os cigarros são produzidos e empacotados. O processo do Primário é descrito em seguida com mais detalhe.

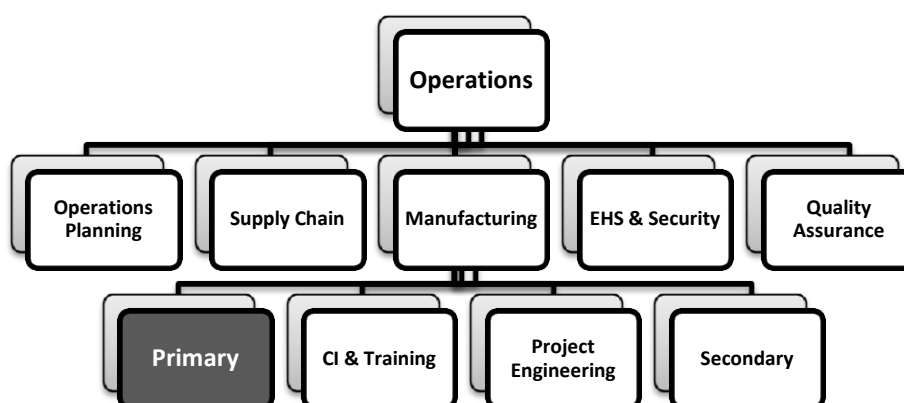


Figura 2 Organograma da empresa Tabaqueira, E.I.T.

1.1.2. Secção do Primário

O projeto desenvolveu-se na estrutura organizacional das Operações, na secção do Primário, no departamento da Manutenção. A secção em questão tem como missão “produzir tabaco para fornecimento ao Secundário com a qualidade e quantidade requerida dentro dos prazos estabelecidos”. Nesta secção ocorre a primeira fase do processo, a preparação de diferentes *blends* de tabaco que resultam em diferentes marcas, em que o tabaco e os restantes ingredientes são combinados nas condições e proporções específicas para cada produto. O processo inicia-se com a receção dos vários tipos de folhas de tabaco (*Burley*, *Virginia* e *Oriental*), tabaco expandido e nervura.

Uma zona de armazenamento inicial junto da instalação produtiva, *infeed*, fornece a linha de forma contínua. O tabaco é processado na área de condicionamento de modo a aumentar a humidade, provocando a abertura das folhas inicialmente secas e comprimidas. Posteriormente de forma a obter uma melhor mistura dos diferentes tipos de tabaco, este é descarregado em silos de pré-mistura. Em seguida passa-se à separação das partículas pesadas, removendo a nervura e outros materiais. Alguns ingredientes, como os humidificantes, ajudam a manter a humidade e a maleabilidade da folha de tabaco. O processo continua na área de corte, onde a mistura é cortada em dimensões standard para o fabrico do cigarro e posteriormente passa pelo processo de secagem até a humidade especificada para cada *brand* ser obtida. Relativamente ao tabaco expandido passa pelo mesmo processo até ao separador de partículas, sendo depois cortado, expandido e humidificado. A nervura é processada de modo diferente, sendo humidificada, laminada, cortada e seca, originando nervura processada.

Deste processo resulta o *cutfiller*¹, ou seja, o tabaco em rama, tabaco expandido e nervura, podendo ainda ter tabaco reconstituído em função da marca que se está a produzir. Para além da alimentação do Secundário², o setor do Primário produz para exportação.

¹ *Cutfiller* é composto por tabaco em rama, tabaco expandido e nervura, podendo ainda conter tabaco reconstituído de acordo com a marca.

² A secção do Secundário refere-se à zona do fabrico do cigarro, o qual inclui também o empacotamento desde o maço à caixa.

1.2. Manutenção baseada na condição na Tabaqueira, E.I.T.

A manutenção era já uma preocupação da empresa em análise, no entanto considerou-se que poderia obter-se melhorias significativas caso se fizesse a introdução de manutenção condicionada, ou seja por monitorização de equipamentos.

Relativamente à manutenção, já existiam planos de manutenção preventiva (prevenção de avarias) que haviam sido melhorados de modo a reduzir a manutenção corretiva (reparação após avaria). Após um estudo exaustivo na área da manutenção verificou-se que a implementação de um sistema de monitorização dos equipamentos traria vantagens nomeadamente ao nível da ocupação dos técnicos e da vida útil dos equipamentos.

É precisamente neste sentido que o projeto se desenvolve, ou seja, na criação de procedimentos para uma implementação eficaz. Para tal procedeu-se a uma análise inicial dos equipamentos existentes na área do Primário, classificando-os de acordo com dois critérios: criticidade relativamente ao processo e número de avarias (com base no histórico de intervenções). Tal permitiu restringir um grupo de equipamentos que deveriam ser sujeitos a uma monitorização de dois parâmetros físicos, análise de vibrações e termografia (não sendo obrigatoriamente sujeitos a ambos). Repare-se que cada equipamento é um conjunto de máquinas, referindo o exemplo de um ventilador que é constituído por um ventilador, correia de transmissão, motor e um veio de ligação.

Partindo de um estudo das normas, tabelas, manual do equipamento e dados recolhidos no próprio equipamento criaram-se procedimentos para uma monitorização eficaz. Em simultâneo surgiu a necessidade de elaborar instruções de funcionamento mais visuais e intuitivas dos aparelhos de medição para uniformizar as medições, evitando um diagnóstico errado condicionado por uma má avaliação.

A introdução deste procedimento envolve não só melhorias para os equipamentos, mas sobretudo envolve os colaboradores, consciencializando-os para a necessidade de acompanhar regularmente a máquina, fazer uma melhor análise, evitando até desperdício a nível do tempo ocupado com manutenção desnecessária dos equipamentos.

1.3. Metodologia

Definiu-se inicialmente uma metodologia (Figura 3) na qual se destacaram etapas para a realização do projeto.

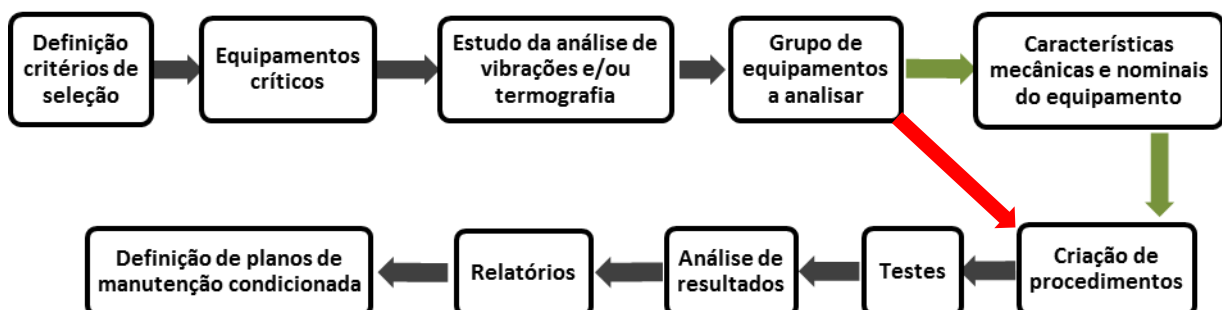


Figura 3 Esquema de metodologia aplicada

Numa fase inicial procedeu-se a um levantamento dos equipamentos da área do Primário, com recurso ao sistema de gestão *SAP*³, criando-se uma base de dados com nomenclatura do equipamento e respetivos constituintes, assim como informação relativa à linha de produção na qual está inserido. Passou-se de seguida à definição dos critérios de seleção, de modo a definir o grupo de equipamentos críticos. Em seguida surgiu a necessidade de fazer um estudo da análise de vibrações e de termografia, para cada equipamento considerado crítico. Tal permitiu determinar o tipo de análise a executar, podendo haver necessidade de fazer as duas análises a um só equipamento. Assim, mais uma vez foi possível restringir o número de equipamentos a ser analisado. Para análise de vibrações (indicada pelas setas a verde) foi necessário a recolha de características mecânicas e nominais das máquinas ao contrário da análise termográfica para a qual não existe essa necessidade (indicada pela seta a vermelho).

Para ambas as análises criaram-se procedimentos, para posterior execução de testes de modo a possibilitar uma análise dos resultados e consequentemente criação de relatórios. Partindo desta metodologia foi possível atingir o objetivo principal de definir um plano de manutenção condicionada para monitorização dos equipamentos da referida área.

1.4. Organização da Dissertação

A presente dissertação organiza-se em seis capítulos. O primeiro capítulo é constituído por uma breve Introdução à empresa e descrição da respetiva área produtiva na qual o projeto foi desenvolvido. Em simultâneo descreve-se o projeto realizado, objetivos e metodologia utilizada. O segundo capítulo refere-se a um Enquadramento teórico no qual se desenvolve o tema da manutenção, focando tipos de manutenção, contextualização histórica, vantagens e desvantagens.

No terceiro capítulo faz-se uma abordagem mais detalhada da manutenção condicionada, referindo-se o conceito, técnicas de monitorização, vantagens e desvantagens. Relativamente ao quarto capítulo, Enquadramento do projeto, procede-se à caracterização da linha referindo equipamentos e organização, manutenção da linha focando os planos de manutenção e problemas associados. O capítulo cinco, trata-se do Desenvolvimento do projeto, no qual são definidos critérios de seleção e grupo de equipamentos críticos, passando-se para a elaboração de procedimentos de forma a monitorizar os equipamentos permitindo a obtenção de relatórios para posterior análise.

Finalmente, no sexto capítulo é possível retirar conclusões relativas ao desenvolvimento do projeto. No mesmo capítulo surgem algumas sugestões de trabalhos futuros que possam ser implementados na empresa.

³ SAP, sistema de gestão criado por uma empresa alemã que permite gerir todos os dados da organização

2 Manutenção – Enquadramento teórico

2.1. Manutenção Industrial

Segundo a norma EN 13306:2001, versão portuguesa, manutenção é definida como a “Combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida.” Refira-se que a manutenção pode ser entendida como o conjunto de procedimentos que visa o perfeito funcionamento de um equipamento maximizando o seu tempo de vida útil, corrigindo e se possível antecipando eventuais falhas. É ainda necessário referir a diferença entre a vida útil e vida económica de um equipamento. A vida útil de um equipamento refere-se ao período de tempo entre a aquisição do equipamento até o seu fim de vida. A vida económica é o período de tempo, desde a entrada de um equipamento novo, até ao momento onde se obtém a minimização dos custos despendidos na utilização desse equipamento. A manutenção deve começar numa fase de projeto ou conceção e na instalação industrial do equipamento. É nesta fase que a capacidade de um equipamento (sistema reparável) ser mantido, a capacidade de estar operacional e a duração de vida vão ser pré-determinados.

A disponibilidade, a qualidade e eficiência das máquinas/equipamentos produtivos têm um papel determinante na competitividade da empresa. Isto significa que a área da Manutenção desempenha um papel muito importante e fundamental ao qual é necessário cada vez mais atenção. Quando se comprova o impacto da Manutenção nos custos de fabrico, na qualidade do produto, na flexibilidade e rapidez de resposta a encomendas e na diminuição de prazos de entrega, compreende-se quanto é importante implementar uma política de Manutenção.

Assim, um dos principais objetivos da manutenção passa por maximizar a disponibilidade e longevidade dos equipamentos, reduzindo as paragens de produção devidas a avarias, bem como assegurar os níveis de qualidade do trabalho prestado pelos mesmos.

2.1.1. Missão da manutenção

Mobley (2002) refere que contrariamente à opinião popular, o papel da manutenção não é somente “reparar” uma avaria, mas sim evitar todos os prejuízos que são causados por equipamentos ou problemas relacionados com o sistema. A missão da manutenção é de obter e sustentar os seguintes objetivos:

- Ótimas condições de funcionamento;
- Máxima utilização de recursos de manutenção;
- Prolongar a vida útil do equipamento;
- Minimizar o inventário de peças;
- Agilizar a capacidade de reação.³

2.1.2. Contextualização histórica

Nos últimos 20 anos a manutenção tem passado por bastantes alterações, sendo estas consequência de um aumento do número e diversidade dos itens físicos a ser mantidos, dos projetos atingirem níveis de complexidade elevados, das novas técnicas de manutenção e das novas focagens sobre a organização da manutenção e as suas responsabilidades. Desde os anos 30, a evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações, Figura 4.

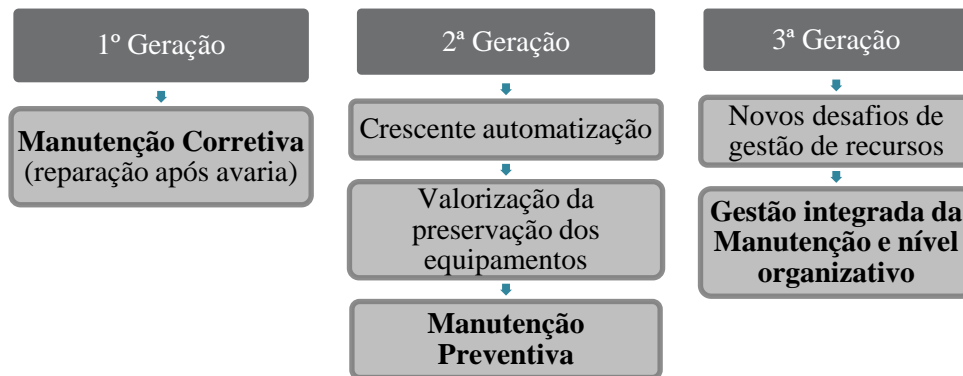


Figura 4 Evolução da Manutenção

2.2. Tipos de manutenção

Antes de abordar a manutenção baseada na condição é necessário compreender a existência de outros tipos de manutenção.

São várias as opiniões relativamente aos diferentes tipos de manutenção existentes, mas a forma mais correta de classificar a manutenção será dividi-la em dois tipos, Manutenção Planeada e Manutenção Não Planeada, como recomenda Cabral (2004).

Como é de conhecimento geral, em qualquer política de manutenção aplicada num contexto industrial será sempre mais viável planejar uma ação do que não planejar. É ainda necessário ter em atenção que nem sempre uma manutenção planeada traz benefícios económicos ao nível dos equipamentos, é pois necessário fazer um *trade-off* (custo/benefício) para perceber se deve ou não realizar-se este tipo de manutenção. Em determinados casos nos quais não se verifique vantajosa a utilização da manutenção planeada, deve então optar-se pela realização então de uma manutenção não planeada.

De modo a permitir uma melhor compreensão, a Figura 5 demonstra a manutenção de equipamentos de forma esquematizada.

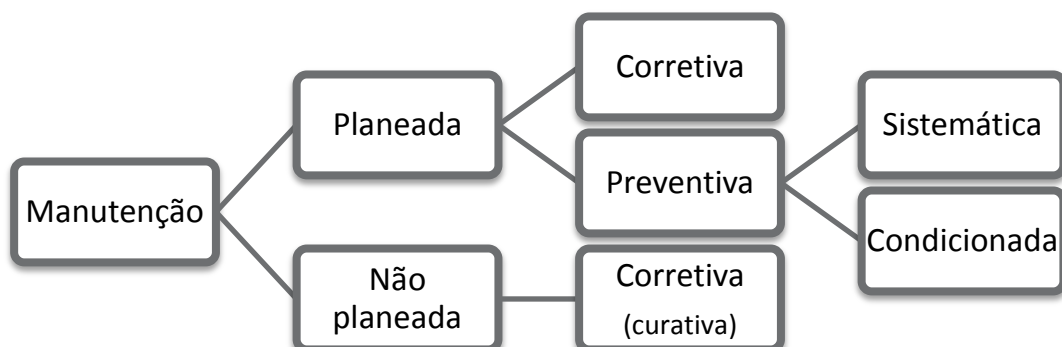


Figura 5 Tipos de manutenção

Com o objetivo de facilitar a compreensão dos diferentes sistemas e tipos de manutenção proceder-se-á a uma análise mais detalhada do esquema. Desta forma expõem-se os tipos de manutenção dividindo-os em dois grupos principais: manutenção planeada e manutenção não planeada.

2.2.1. Manutenção Planeada

A manutenção planeada é um tipo de manutenção em que se prepara, devidamente as intervenções a serem realizadas, em termos de peças de reserva, tempos de entrega de peças e disponibilidade do equipamento. Com isto, é uma manutenção que pode trazer mais benefícios em termos económicos e em que a vida útil do equipamento prolonga-se, uma vez que ao fazer planeamento da intervenção existe um maior controlo dos equipamentos.

Como descrito pelo esquema na manutenção planeada distingue-se a preventiva e a corretiva. Assim a *manutenção preventiva* tem a função de prevenir paragens não planeadas e danos prematuros nos equipamentos, que caso não fossem reparados resultariam em atividades de carácter corretivo. Esta manutenção é baseada no estado do equipamento, local de instalação, dados fornecidos pelo fabricante, entre outros. Os objetivos da manutenção preventiva são a máxima redução do número de avarias em serviço (aumentando a disponibilidade dos equipamentos); diminuição do número total de intervenções corretivas (diminuindo o custo da manutenção corretiva); grande diminuição do número de intervenções corretivas. É de notar diversas vantagens deste tipo de manutenção, a título de exemplo a redução do número de avarias e por consequência o decréscimo do número de paragens na produção. A redução nos custos de reparação; a maior durabilidade dos equipamentos e maior segurança nos equipamentos e no processo são igualmente vantagens apontadas.

Através da visualização da Figura 5 pode ainda notar-se que dentro da manutenção preventiva existem ainda dois ramos, ou seja, dois sistemas: a manutenção sistemática e a manutenção condicionada (manutenção baseada na condição).

Relativamente à *manutenção sistemática* é efetuada de forma periódica, em intervalos de tempo estabelecidos, tendo por objetivo manter o sistema num estado de funcionamento equivalente ao inicial. Este tipo de manutenção traz algumas vantagens e desvantagens. Entre as vantagens deste tipo, refira-se a possibilidade de se poder obter o custo à priori de cada operação de manutenção, em simultâneo as operações e paragens são programadas de acordo com a produção. Em relação às desvantagens, existe uma maior possibilidade de erro humano, dada a frequência de intervenções; as paragens sistemáticas, ainda que planeadas, têm um custo elevado, sendo também elevado o próprio custo de cada operação, devido à periodicidade.

Quanto à *manutenção condicionada* analisa a condição de funcionamento de um ou vários equipamentos/máquinas e destina-se à redução da probabilidade de falha e/ou avaria. É uma manutenção que se rege por um acompanhamento constante dos parâmetros que avaliam o desempenho dos equipamentos e que indicam a necessidade, ou não de uma intervenção. Esta manutenção é usada em conformidade com a manutenção corretiva planeada, permitindo que os equipamentos trabalhem durante mais tempo e que as intervenções necessárias sejam baseadas em dados concretos e não apenas em suposições, como refere Lima, Lima, & Salles (2008). Repare-se que este tema, sendo o principal objeto de estudo da dissertação, será analisado com maior detalhe no Capítulo 3.

Em relação à *manutenção corretiva planeada*, como o nome indica, é uma manutenção na qual a intervenção é feita de forma planeada. A corretiva planeada é utilizada em duas

situações distintas: quando existe uma falha no equipamento ou máquina e a sua manutenção não é urgente; por outro lado é indicada em casos em que a avaria não afeta o funcionamento da máquina e é planeada uma vez que o equipamento não se encontra disponível. Este tipo de manutenção também é a economicamente mais favorável. A aplicabilidade da segunda situação justifica-se caso não origine problemas de segurança e não afete a produção.

2.2.2. Manutenção Não Planeada

Como é perceptível pela sua designação trata-se de uma ação que não envolve qualquer tipo de planeamento. De modo a tornar mais prática a sua definição, pode-se dar como exemplo a situação em que uma máquina para sem qualquer aviso prévio e há necessidade de corrigir o erro, assim recorre-se a uma manutenção de emergência (corretiva não planeada). Repare-se que nesta situação não está envolvido qualquer tipo de análise, plano ou preparação.

No seguimento da Figura 5, refere-se o sistema de *manutenção corretiva não planeada*.

A *manutenção corretiva (curativa)* tem como principal função corrigir as condições de funcionamento de determinado equipamento. Este tipo de manutenção acarreta custos elevados, apesar de não se verificar gastos em manutenção até que ocorra uma avaria. As desvantagens da corretiva, são diversas como a título de exemplo, baixa utilização de equipamentos; perdas de produção devido às falhas que ocorrem de modo inesperado; elevado número de peças de reserva. Este tipo de manutenção deve ser reservada aos equipamentos cuja indisponibilidade tenha pouca importância sobre a produção e cujo custo anual suposto de reparação, bem como as avarias imprevisíveis sejam aceitáveis.

2.3. Indicadores de desempenho

É de referir que para a evolução de uma empresa revela-se necessária a avaliação da situação real na qual se encontra. Para que isso aconteça são precisos métodos para medir o desempenho que permitam uma avaliação, não só da situação atual, mas também da situação após alterações futuras, permitindo uma comparação entre os diferentes momentos.

Neste ponto será abordada a importância dos indicadores de desempenho na manutenção. Um indicador de desempenho permite dar uma indicação sobre uma determinada característica ou acontecimento. Estes possibilitam a medição da eficácia das ações e das diferenças entre as previsões e os resultados operacionais. Cabral (2004) refere que é boa política procurar indicadores mais simples de calcular, utilizar poucos indicadores e manter a possibilidade de ir ao pormenor para investigar desvios e variações anómalas.

Os indicadores mais importantes na manutenção são: Taxa de Avarias (λ); MTBF (*Mean Time Between Failures*); MTTR (*Mean Time to Repair*) e Disponibilidade. Este conceitos serão desenvolvidos em seguida.

2.3.1. Taxa de Avarias (λ)

A taxa de avarias (λ) de sistemas reparáveis pode ser definida como sendo a derivada do número esperado de avarias (Equação 1), ou seja, que será uma função constante no período de vida útil, uma função decrescente no período de avarias precoces e uma função crescente no período de degradação.

$$\lambda(y) = \frac{d}{dy} [E\{N(y)\}]$$

Equação 1 Derivada do número esperado de avarias

Em relação à taxa de avarias (quando esta é constante), esta exprime o número de avarias por unidade de utilização, sendo calculada pela divisão entre o número total de avarias ocorridas num determinado período pelo total de unidades de período. A fórmula do cálculo do estimador da taxa de avarias constante apresenta-se como indica a Equação 2:

$$\lambda = \frac{\text{Número de avarias}}{\text{Tempo Total de Funcionamento}}$$

Equação 2 Fórmula de cálculo da taxa de avarias

É ainda de referir que a representação da distribuição de avarias de uma larga gama de equipamentos ao longo do tempo é apresentada através da “Curva da banheira”, representada na Figura 6. Trata-se de uma representação gráfica simples, na qual se divide a vida de um produto em três partes: período de avarias/falhas precoces; vida útil (incidência de falhas é relativamente estável no tempo) e período de degradação (produto começa a apresentar desgaste acentuado, falhas passam a ocorrer com maior frequência).

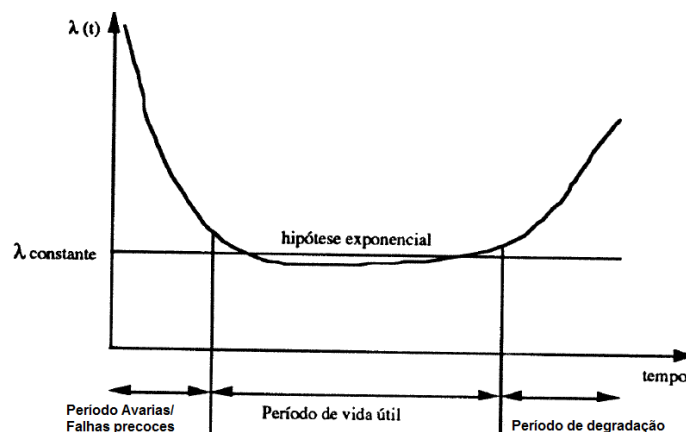


Figura 6 Curva da banheira

Assim de modo mais detalhado referem-se as três partes do gráfico acima representado. Na primeira zona, a taxa de avarias é mais elevada devido ao facto dos produtos serem novos, aliado ao facto dos operadores das linhas de produção estarem ainda em fase de adaptação e existirem problemas de transporte ou instalação.

Relativamente à segunda fase (vida útil) corresponde à maturidade, neste estágio a distribuição de avarias é mais uniforme ao longo do tempo e é por isso o período de maior rendimento do equipamento. As falhas nesta fase são causadas por acontecimentos aleatórios, não havendo, geralmente, degradação prévia visível.

Finalmente refira-se a última fase, designada de período de degradação, na qual se assinala o aproximar do fim de vida do equipamento. O aumento da taxa de avarias revela uma degradação acelerada, sendo que o equipamento já não cumpre a função para a qual foi desenvolvido.

2.3.2. MTBF

Antes de mais refira-se *MTBF*, cuja sigla se refere a *Mean Time Between Failures*. Este indicador refere-se ao tempo médio entre falhas e exprime o período de tempo entre duas avarias consecutivas, ou seja, o tempo recolhido entre o fim da última falha e o início da próxima, dentro do tempo em que o equipamento deveria estar em funcionamento.

Este parâmetro é obtido através do inverso da estimativa da taxa de avarias, como mostra a Equação 3. Este parâmetro é de mais fácil interpretação quando comparado com o estimador da taxa de avarias.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Equação 3 Fórmula de cálculo do indicador MTBF

2.3.3. MTTR

O MTTR, *Mean Time To Repair*, exprime o tempo médio necessário para a reparação de uma avaria e é estimado através da divisão do somatório dos tempos de reparação num dado período (TR_i) pelo número de avarias ocorridas nesse mesmo período. De modo a permitir uma melhor compreensão do cálculo, a fórmula apresenta-se de seguida:

$$MTTR = \frac{\sum TR_i}{\text{Número de reparações}}$$

Equação 4 Fórmula de cálculo do indicador MTTR

2.3.4. Disponibilidade

Relativamente a este indicador, utiliza-se maioritariamente para identificação do tempo durante o qual determinado equipamento está disponível para operar. A disponibilidade está dependente de vários fatores, como refere (Ferreira, 1998):

- Número de avarias;
- Rapidez com que as avarias são reparadas;
- Tipo de manutenção;
- Quantidade e qualidade dos meios à disposição;
- Correlação entre avarias.

Como refere, (Martins & Leitão) “D(t), traduz a proporção de tempo em que o sistema se encontra em condições para ser usado e assim poder realizar as suas funções específicas. Na manutenção a disponibilidade intrínseca de um equipamento representa-se por:

$$Disponibilidade = \frac{T_{UP}}{T_{UP} + T_{DOWN}}$$

Equação 5 Fórmula de cálculo da disponibilidade

Relativamente à Equação 5, T_{UP} indica é o período de tempo em que o equipamento está em condições de ser utilizado e T_{DOWN} é o período de tempo em que o equipamento não está em condições de ser utilizado”. É necessário mencionar que o T_{DOWN} divide-se em duas partes essenciais, uma delas referente à taxa de avarias e ao tempo de reparação e a outra refere-se ao tempo de espera. O tempo de espera inclui a mão-de-obra, peças de reserva e o tempo de entrega dos fornecedores.

2.4. Custos da manutenção

Os custos da manutenção têm de ser considerados no custo final de produção dos bens fabricados ou dos serviços fornecidos. Como refere Cabral (2004) “numa cultura onde ainda não se descobriu uma unidade de medida diversa de uma quantificação numérica dos custos, convém reter a imagem gráfica do *iceberg* (na Figura 7), dos custos verdadeiros da manutenção, em que a ponta visível representa os custos contabilísticos e a parte imersa – quatro vezes maior – representa todos que não são facilmente quantificáveis”.



Figura 7 *Iceberg* de custos

É de referir que existe uma divisão entre os custos de manutenção: custos diretos e indiretos.

Os custos diretos são referentes a custos de mão-de-obra, despesas globais do serviço de manutenção, consumo de matérias-primas e bens para a manutenção, consumo de peças de substituição, entre outros.

Em relação aos custos indiretos, respeitam os custos de perda de produção: perdas de produtos não fabricados, perdas de qualidade, perda das matérias-primas, custo de mão-de-obra parada, entre outros (Leitão, 2012).

3 Manutenção Baseada na Condição

3.1. Conceito

O conceito foi criado entre as décadas de 70 e 80, para designar uma nova abordagem à manutenção preventiva. Esta manutenção baseia-se no conhecimento real das máquinas e na implementação de um sistema de controlo de condição, como refere Cabral (2004). Refira-se que normalmente este tipo de manutenção ocorre antes da manutenção preventiva.

O maior objetivo da condicionada é a redução da probabilidade de falha ou avaria do equipamento. Lima (2008) indica que é utilizada em conformidade com a manutenção corretiva planeada, permitindo que os equipamentos operem por mais tempo e que a intervenção aplicada seja baseada em dados e não em suposições (como no caso da preventiva).

Relativamente a esta manutenção verificam-se grandes benefícios, pois possibilita prever falhas com antecedência suficiente para que os equipamentos sejam desativados em segurança, permitindo uma redução das interrupções de produção. Em consequência, o rendimento e produtividade dos equipamentos aumentam e o desgaste diminui (Mirshawaka, 1991). Esta auxilia no diagnóstico de problemas, contribuindo para evitar avarias inesperadas. Em relação à otimização de custos esta manutenção é vantajosa na medida que a troca de componentes apenas é realizada no momento mais adequado, ou seja, os componentes são substituídos antes que a avaria ocorra (Lobo, 2012).

Manutenção condicionada, manutenção preditiva ou manutenção baseada na condição são designações utilizadas para indicar este tipo de abordagem. Esta incide sobre os equipamentos, considerados individualmente, substituindo revisões a intervalos fixos por inspeções a intervalos fixos, como menciona Cabral (2004).

Os objetivos desta manutenção incluem:

- Reduzir a manutenção corretiva não planeada;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Impedir aumento de danos nos equipamentos;
- Aumentar a vida útil dos componentes de um equipamento;
- Determinar previamente as interrupções de produção para fazer a manutenção aos equipamentos;
- Ganhos devidos à deteção de avarias em equipamentos críticos, custos de reparação e paragem das instalações.

Na Figura 8 é apresentado um gráfico que permite verificar quando se deve proceder à aplicação da manutenção condicionada. De facto, a curva mostra o comportamento do equipamento conforme este se aproxima da falha e é chamada de “Curva P-F”. A condição do equipamento decresce em função do tempo, sendo a falha potencial (indicada por P) o instante no qual o sinal medido apresenta uma condição de falha iminente. O intervalo entre a falha potencial e a falha funcional (indicada por F) apresenta o período ao longo do qual as tarefas de manutenção devem ser realizadas (Telang & Telang, 2010).

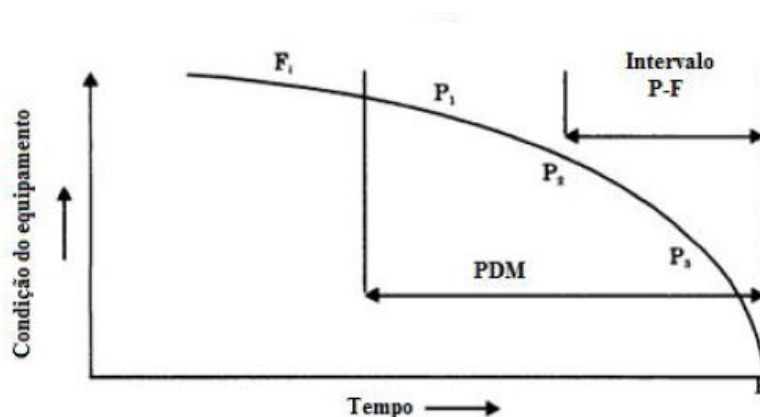


Figura 8 Curva de falha potencial (Telang & Telang, 2010)

É de referir que este tipo de manutenção necessita de técnicas para executar a monitorização da condição dos equipamentos, sendo que a maioria das vezes é necessário recorrer a mais do que uma técnica para obter uma análise completa de todos os aspetos críticos, maximizando os benefícios da sua utilização. Estas técnicas são utilizadas na maioria das vezes em equipamentos rotativos, tais como, ventiladores, motores, compressores entre outros. Assim, todas as técnicas para monitorização da condição dos equipamentos são do tipo não destrutivo, caso contrário este tipo de manutenção não teria tantas vantagens (referidas em 3.2). Entre as técnicas de controlo de condição, as mais utilizadas são:

- Análise de vibrações;
- Termografia;
- Inspeção visual;
- Análise por ultrassons;
- Análise de partículas/lubrificação.

De forma a tornar mais perceptíveis as técnicas referidas, na Tabela 1 apresentam-se as técnicas de controlo de condição e as suas respetivas aplicações.

Tabela 1 Tecnologias de controlo de medição e suas aplicações

Tecnologias \ Aplicações	Bombas	Motores Elétricos	Disjuntores	Permutadores de Calor	Sistemas Elétricos
Análise de Vibrações	X	X			
Termografia	X	X	X	X	X
Inspeção Visual	X	X	X	X	X
Análise por ultrassons	X	X		X	X
Análise de partículas/lubrificação	X	X			

Neste projeto foram abordadas e utilizadas essencialmente duas técnicas, consideradas mais importantes e utilizadas: a análise de vibrações e a termografia (descritas em detalhe em 3.3).

Na implementação desta manutenção é necessário referir os motivos que levam à sua adoção, a título de exemplo, o aumento da segurança, a redução de custos de manutenção e o aumento da disponibilidade do equipamento. Após ter estes conceitos bem percebidos, é necessário seguir regras para uma boa implementação, como mostra a Figura 9.

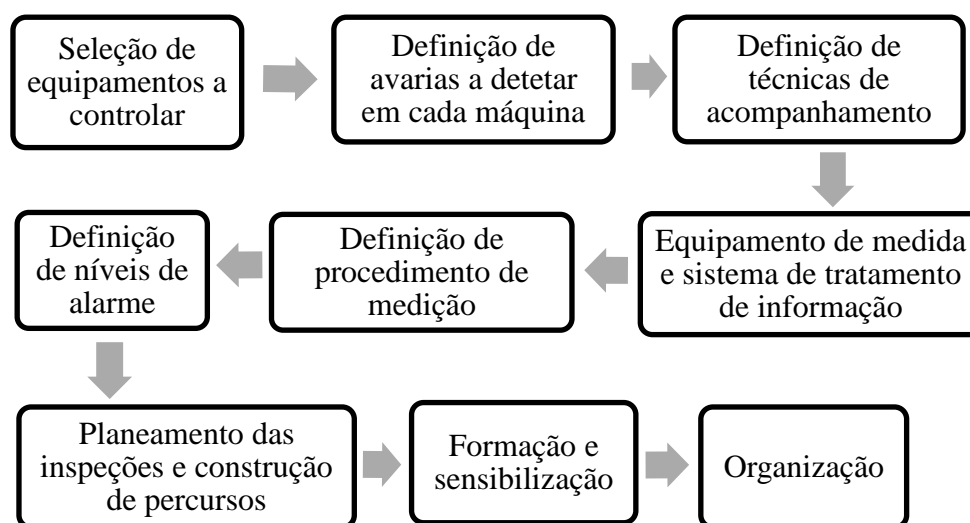


Figura 9 Fases de implementação da manutenção baseada na condição (adaptado de Cabral, 2004)

3.2. Vantagens e Desvantagens

A manutenção baseada na condição tem diversas vantagens relativamente a outros tipos de manutenção. No que respeita a vantagens económicas salientam-se ganhos por redução de perdas de produção e por redução dos custos de manutenção. É de referir que para além das vantagens económicas existem outras, relevantes para a implementação desta manutenção.

De facto, este tipo de manutenção conduz a um aumento da segurança do operador da máquina, devido à existência de um tempo de aviso que permite parar as máquinas antes de atingirem um estado crítico, sobretudo se estas não puderem parar de imediato. Uma outra das vantagens é o aumento da disponibilidade do equipamento e da sua vida útil, que resulta num aumento de produção. Tal indica que o tempo de serviço das máquinas pode ser aumentado através da maximização do tempo entre inspeções e os danos resultantes de avarias podem ser reduzidos ou até mesmo eliminados. Com esta manutenção é possível a redução de *stock* em armazém, uma vez que não existe tanta necessidade de peças de reserva, sendo estas somente utilizadas quando realmente necessárias. A possibilidade de melhorar a especificação e o projeto de futuras instalações, devido ao histórico obtido através de inspeções realizadas, demonstra-se igualmente como uma vantagem.

Finalmente, devem referir-se algumas vantagens muito importantes como o facto de que para fazer a inspeção aos equipamentos estes têm que se encontrar em funcionamento, ou seja, não é necessário esperar que o equipamento esteja disponível. Assim como ao facto de proporcionar uma redução de avarias inesperadas, sendo a manutenção feita quando é conveniente.

Após compreender o conceito de manutenção condicionada, é possível entender que a aplicação da condicionada envolve custos. Desta forma note-se que as desvantagens estão portanto diretamente relacionadas com os custos. Para esta implementação é necessário um grande investimento inicial em equipamentos e aparelhos de medição. Por outro lado surge a

exigência de criar condições a nível humano, ou seja, incluir a formação de operadores ou técnicos para uma eficaz monitorização.

3.3. Técnicas de monitorização

Refira-se que um bom plano de manutenção baseada na condição deve incluir diversas tecnologias de monitorização não havendo exclusividade relativamente ao equipamento. Como foi referido anteriormente, estas técnicas incluem a monitorização da vibração, termografia, inspeção visual, ultrassom e outras técnicas de ensaios não destrutivos.

No projeto em questão foram estudadas duas técnicas, a análise de vibrações e termografia, que vão ser descritas mais detalhadamente nos pontos seguintes.

3.3.1. Análise de Vibrações

A implementação da análise de vibrações possibilita determinar a condição atual do equipamento, partindo da interpretação ou análise da vibração. De facto, os problemas de uma máquina ou equipamento manifestam-se muitas vezes através de vibrações ou da alteração de uma vibração característica.

Num ambiente industrial são várias as fontes de vibrações: processos de impacto, máquinas rotativas ou alternativas com desequilíbrios, entre outros (Rodrigues, 2013). Segundo a norma ISO 2041-1975, a vibração define-se como a variação com o tempo, da magnitude de uma quantidade que descreve o movimento ou posição de um sistema mecânico, quando a magnitude é alternativamente maior ou menor do que um valor médio ou referência. De modo simples a vibração mecânica não é mais que um movimento alternado relativamente a uma posição de referência.

De modo a obter e analisar os dados é essencial compreender dois parâmetros: amplitude e frequência de vibração. Relativamente à amplitude de vibração define-se como o máximo de deslocamento de uma partícula vibratória ou corpo em relação à sua posição de repouso. Repare-se que este parâmetro relaciona a vibração com a gravidade do defeito, uma vez que permite visualizar pontos ou vibrações acima das definidas. Deste modo, a amplitude refere-se ao deslocamento (alteração da posição de determinado elemento relativamente a uma posição de referência), velocidade (rapidez de ocorrência do deslocamento, em mm por segundo) ou aceleração (variação da mudança de velocidade, em g⁴).

Em relação à frequência de vibração (em Hertz, ou seja, ciclos por segundo) pode definir-se de forma simples como o número de ocorrências de um episódio (ciclos, oscilações, entre outros) num determinado intervalo de tempo. Esta grandeza permite relacionar a vibração com o defeito ou componente em falha, uma vez que é comum os desequilíbrios apresentarem anomalias numa mesma frequência.

Deste modo é necessário compreender o fenómeno vibratório de forma a definir as grandezas de diagnóstico conhecendo o tipo de avarias e o modo como se manifestam em termos de vibração (Rodrigues, 2013).

O método mais utilizado na análise de vibrações para diagnóstico de avarias é a Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation*, FFT). A FFT é uma ferramenta utilizada para decompor a vibração de um equipamento nas frequências dos diversos componentes

⁴ g, corresponde à aceleração gerada pela força de gravidade.

numa amplitude específica. Através deste método, a vibração é apresentada na forma de espectro de frequências. O espectro é usado para identificar em que rotações ocorrem falhas no equipamento e estas falhas são devido à degradação mecânica. Com o espectro de frequências é possível determinar a causa de um problema e a sua localização, uma vez que como referido este apresenta as frequências de falha de cada elemento contido.

A monitorização da tendência num determinado período, pode indicar alterações nos elementos de frequência. Estas alterações podem ser monitoradas por um gráfico de tendência, tendo como base o limite máximo permitido. Com isto chega-se aos limites convenientes (mencionados em 3.3.1.1) para que a manutenção possa intervir antes que se inicie o processo de falha.

A forma mais simples de avaliar o estado vibratório de um determinado equipamento consiste na avaliação a nível global da vibração. Partindo desta análise é possível obter a informação sobre o estado geral do equipamento, partindo da aferição da amplitude de vibração originada pela conjugação de todos os mecanismos de excitação cuja frequência característica se encontra dentro da banda de frequências da análise de vibração. Esta técnica permite medir a amplitude total de vibração, expressa em deslocamento, velocidade ou aceleração como indicado anteriormente, para uma gama específica de frequências. Na aplicação desta técnica é necessário ter em atenção a gama de frequências, ou seja, para se proceder à comparação da amplitude global, é necessário que as normas ou históricos estejam na mesma gama de frequência (Scheffer & Girdhar, 2004).

Note-se que a avaliação do estado global de vibração pode ser realizada através dos valores Pico (valor máximo), ou pela técnica Pico a Pico ou através da Amplitude Média Quadrática (em inglês, *Root Mean Square*, RMS). Estas técnicas são apresentadas na Figura 10, por meio de um gráfico temporal com definição prática das técnicas referidas.

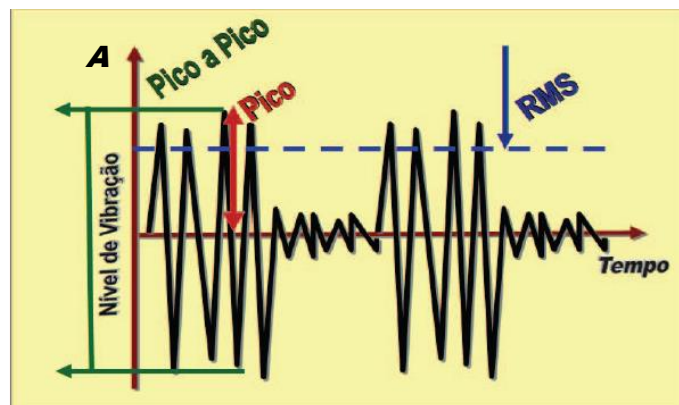


Figura 10 Representação Nível Global de Vibração (Spamer, 2009)

Antes de uma análise mais detalhada, deve referir-se que as escalas em cada um dos eixos (ordenada A amplitude e abcissa tempo, em segundos) estão relacionadas entre si e portanto, para que seja efetuada uma comparação do nível global, as escalas devem ser iguais.

É ainda de notar em relação aos eixos, que a ordenada, amplitude a usar (deslocamento em mm, velocidade em mm/s ou aceleração em g) depende do equipamento a analisar, isto é, depende da frequência a que o equipamento funciona. Refira-se que existem várias gamas de frequências em que portanto de acordo com a banda de frequências, conduz à alteração do tipo de amplitude a utilizar. Portanto, para frequências abaixo de 10 Hz é produzida pequena vibração a nível de aceleração e velocidade, logo a amplitude deve ser expressa em

deslocamento; para a gama de valores entre os 10 e 1000 Hz o mais apropriado é utilizar velocidade de vibração, sendo por fim para frequências acima dos 1000 Hz utilizada em aceleração. É, contudo de referir que a velocidade de vibração é o parâmetro mais utilizado para a amplitude neste tipo de análises (Scheffer & Girdhar, 2004).

Analisando agora as técnicas referidas RMS, Pico e Pico a Pico, refira-se que em relação ao RMS, acima indicado, trata-se de uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. Este é o mais utilizado uma vez que fornece informações sobre a média de energia contida na onda vibratória, constituindo por isso um indicador do potencial destrutivo de uma vibração. Repare-se que a velocidade RMS é expressa normalmente em milímetros por segundo.

Assim, o espaço referente a Pico a Pico trata-se da amplitude medida desde um extremo da onda até ao seu outro extremo, normalmente em micrómetros. Relativamente ao pico de velocidade, indicado na figura por Pico (em mm/s-pk, pk é a sigla em inglês para Pico) é o máximo valor de velocidade, sendo que o pico de aceleração (expressa em g) é o inverso da velocidade, pois apresenta a aceleração máxima no momento em que a velocidade é zero (uma vez que a aceleração máxima trata-se do ponto no qual se verifica que a derivada da aceleração tem valor nulo).

Após a compreensão das técnicas a utilizar para a avaliação do estado global de vibração é essencial proceder a uma correta seleção do medidor de vibrações, uma vez que é um elemento de que influencia diretamente a rapidez e fiabilidade na deteção de falhas existentes. Para tal, existem medidores que com a técnica nível global de vibração apresentam grande capacidade de deteção de comportamentos anómalos, no entanto são limitados quando é necessário identificar as causas que levam a esses comportamentos. Deste modo, os melhores medidores são os que utilizam a técnica de espectros de frequência, pois é possível identificar as causas que levam aos problemas.

Do mesmo modo, para perceber a condição de funcionamento dos equipamentos é necessário fazer uma comparação da medida de vibração dos equipamentos e portanto dos resultados gráficos e valores obtidos com normas, equipamentos similares nas mesmas condições e históricos de medição do mesmo equipamento. Repare-se que a comparação com medições anteriores é o método mais utilizado, mas apenas funciona se na empresa existir um histórico de monitorização de equipamentos, em caso contrário pode partir-se da comparação com normas internacionais.

3.3.1.1. Normas

A análise de vibrações mostra se a condição do equipamento se modificou e para que nível e em quanto tempo se alterou. Os limites definidos pelas normas servem como base na classificação do nível de falha em que se encontra o equipamento (Pruftechnik, 2002).

Relativamente às normas a utilizar, refira-se a norma ISO 10816 (Figura 11) consultada para comparação dos níveis de vibração obtidos, indicada para equipamento com potência inferior a 15 KW, designados *Small Machines* (máquinas pequenas).

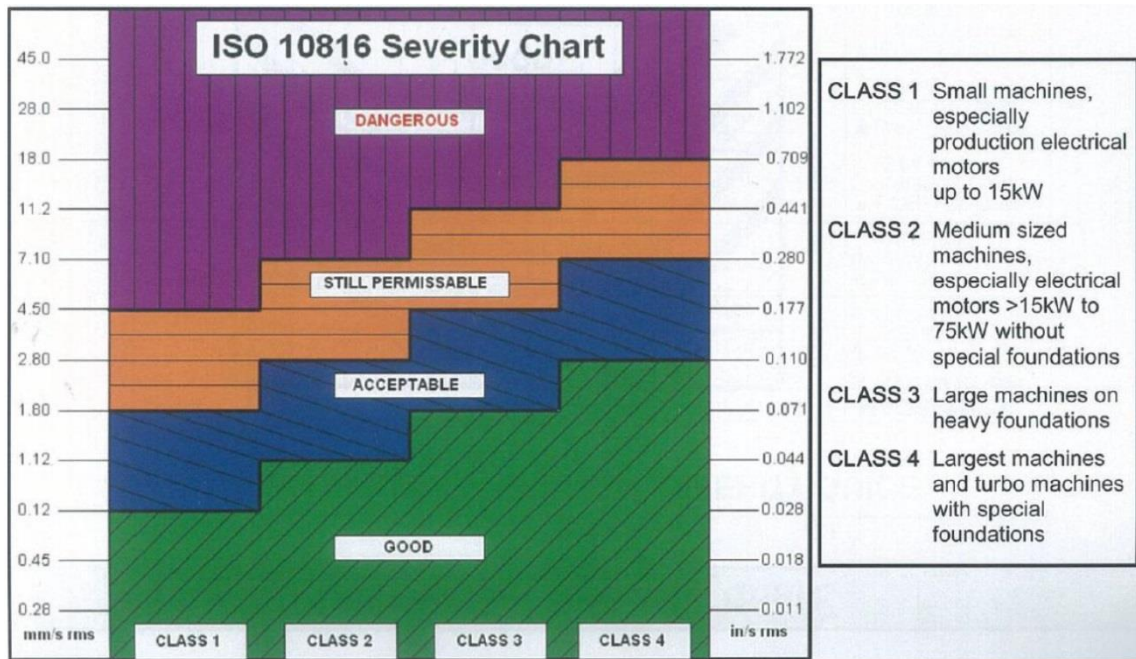


Figura 11 Norma ISO 10816, *Small Machines* (ISO 10816, 1998)

Esta norma estabelece uma classificação para os equipamentos analisados, que assenta nos requisitos funcionais do equipamento e também na sua potência, existindo quatro classes de equipamento. Como é perceptível na figura, após especificar em que classe o aparelho se encontra, determina-se em que zona da norma se situa. Note-se que nesta norma distinguem-se quatro estados: *Good* (equipamento está em correto funcionamento); *Acceptable* (equipamento funciona de modo aceitável, apresentando alguns problemas não relevantes); *Still Permissible* (equipamento apresenta falhas mas ainda funciona) e finalmente *Dangerous* (funcionamento do equipamento é perigoso). Uma vez que existem diferentes classes de máquinas, cada grupo de equipamentos terá valores de transição entre os diferentes estados necessariamente diferentes.

Quanto aos rolamentos, os limites estão estabelecidos no Gráfico 1, apresentado em seguida.

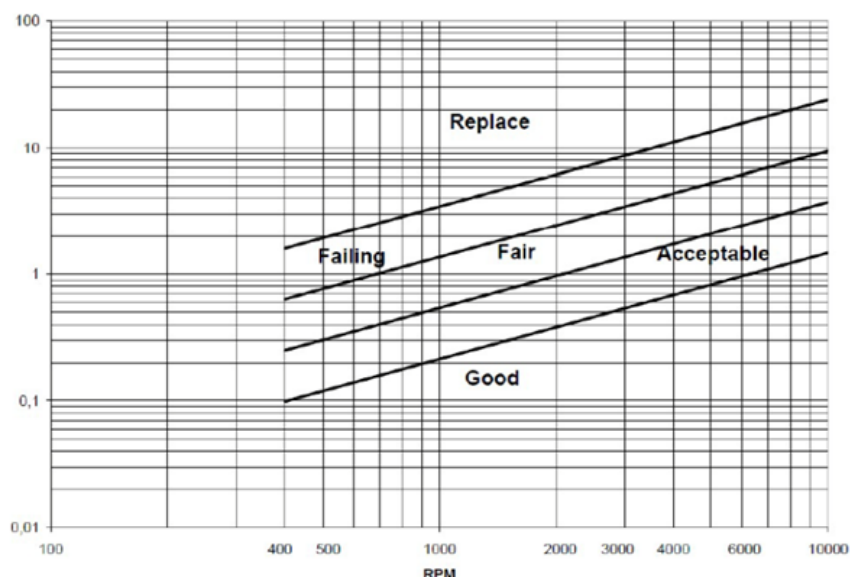


Gráfico 1 Condição dos rolamentos, na unidade 'g' RMS (obtido através do programa *SpectraPro*)

Assim, os limites para os rolamentos estão definidos de acordo com a aceleração, no eixo das ordenadas, em g. Com este gráfico é possível detetar precocemente falhas no estágio inicial.

Tal como na Figura 11, também este gráfico apresenta uma divisão relativamente ao estado do elemento: *Good* (elemento em bom funcionamento), *Acceptable* (aceitável), *Fair* (fase inicial de falha), *Failing* (elemento falha) e *Replace* (substituir o elemento). Com este gráfico é possível detetar precocemente falhas no seu estágio inicial.

A norma ISO 10816 indica ainda que é necessário selecionar pontos de medição. Os pontos de medição em equipamentos são fundamentais para a obtenção de dados corretos. Deste modo, onde se faz a medição depende do equipamento e/ou do elemento em análise.

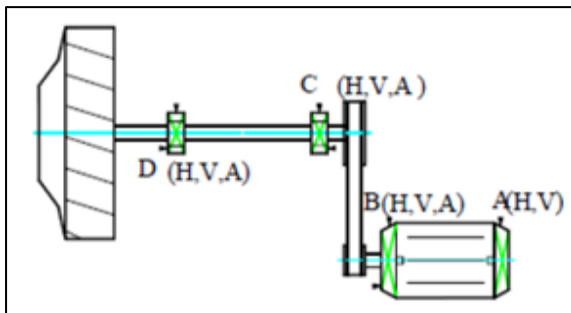


Figura 12 Pontos de medição no conjunto ventilador motor com correia de transmissão

Repare-se na execução de análise de vibrações num equipamento mais específico, como máquinas rotativas a título de exemplo (tipo de equipamento a ser analisado ao longo do projeto). Assim, devem referir-se os pontos de medição nestes equipamentos: no motor e nas chumaceiras do veio. A Figura 12 mostra em que pontos se devem fazer a medição para obtenção de dados fiáveis.

Como indica a Figura 12, os quatro pontos de medição A, B, C e D surgem com indicação das direções nas quais se processa a medição. Sendo A, relativo ao eixo axial, V refere-se ao eixo vertical e finalmente H indica que é feita a medição no eixo horizontal. Refira-se portanto, a título de exemplo, que no ponto D se fazem medições nas três direções e que por outro lado no ponto A apenas se faz a medição relativamente à direção horizontal e vertical.

Note-se que sempre que possível a medição da vibração deve ser efetuada nas três direções, vertical, horizontal e axial, podendo assim ser possível retirar maior informação acerca do estado do equipamento e das potenciais causas que influenciam a sua condição.

3.3.1.2. Diagnóstico de avarias

Cada componente de um sistema mecânico produz, consoante as suas características, um sinal vibratório próprio. A conjugação de todos esses sinais gera um movimento vibratório extremamente complexo de um sistema mecânico real.

O diagnóstico de avarias através da análise de vibrações, consiste em conseguir extrair do sinal emitido pelo sistema, as frequências predominantes no espetro, de forma a identificar a fonte dos problemas e intervir de uma forma mais assertiva. Assim definem-se alguns tipos de avarias mais comuns em equipamentos rotativos: desequilíbrio; desalinhamento; empeno; folgas e desapertos e defeitos em rolamentos. Em seguida são explicados todos os tipos de avarias referidos, com o auxílio de exemplos de espetros de frequências para uma melhor compreensão.

• Desequilíbrio

É um dos fatores mais comuns relacionados com vibrações nas máquinas rotativas. Na maioria dos casos deteta-se uma alta amplitude no espetro exatamente na frequência de rotação do equipamento, sendo que nas direções radiais (vertical e horizontal) a sensibilidade é maior.

O desequilíbrio numa máquina rotativa (caso do ventilador) pode ser resultado da constituição dos seus elementos. As pás do ventilador podem provocar desequilíbrio devido ao desgaste das mesmas com o tempo, sujidade do processo, efeito balanço térmico entre a entrada e saída

de fluxo e fixação das pás no rotor, sendo outro fator importante a sua base de fixação ou apoio. O Gráfico 2 apresenta um exemplo prático de desequilíbrio, no qual se pode verificar uma alta amplitude de vibração exatamente na frequência de rotação do equipamento.

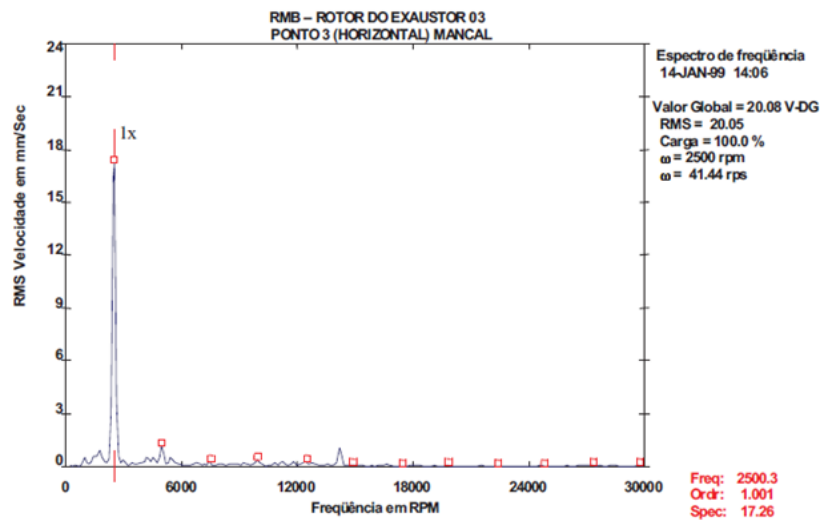
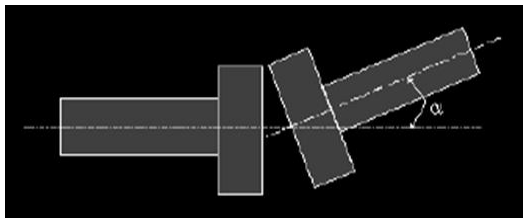


Gráfico 2 Espectro com evidência de desequilíbrio no rotor (Spamer, 2009)

- **Desalinhamento**

Em relação a desalinhamento, acontece nos pontos de ligação entre os equipamentos e pode ser de três tipos: angular; paralelo e angular e paralelo.

Angular: Quando a linha central de dois veios fazem um ângulo. Apresenta alta vibração radial no eixo, podendo também apresentar altas vibrações nas frequências múltiplas (1X, 2X, 3X, etc.).



A Figura 13 mostra um esquema de desalinhamento angular, sendo que o Gráfico 3 apresenta um exemplo de um espectro no ponto axial de um motor elétrico, dando-se atenção aos picos de frequência da rotação do motor.

Figura 13 Esquema desalinhamento angular (Spamer, 2009)

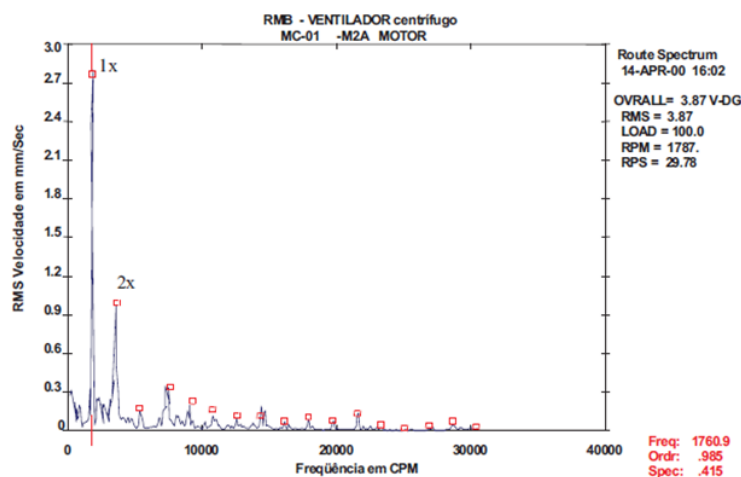


Gráfico 3 Espectro com indicação de desalinhamento angular (Spamer, 2009)

Paralelo: Apesar de os veios estarem alinhados existe um deslocamento entre eles. A

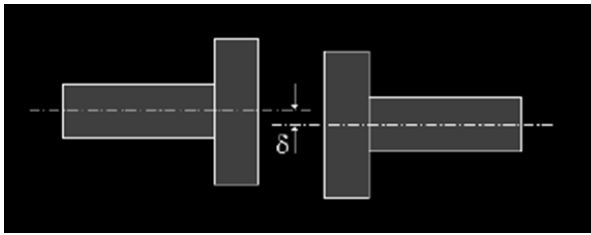


Figura 14 Esquema de desalinhamento paralelo (Spamer, 2009)

vibração dominante aparece na direção radial a 2X frequência de rotação do eixo, sendo que na direção axial poderá também apresentar alta vibração exatamente na frequência de rotação. A Figura 14 mostra um esquema de desalinhamento paralelo e o Gráfico 4 fornece um exemplo de um espectro.

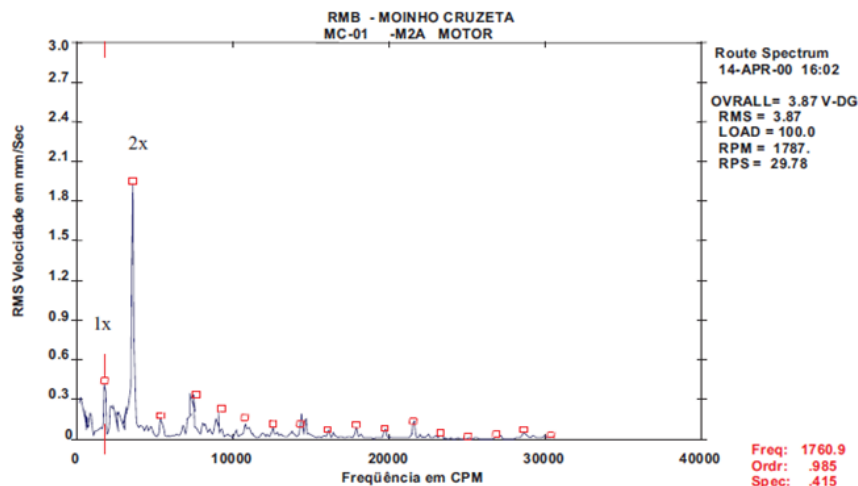


Gráfico 4 Espectro com evidência de desalinhamento paralelo (Spamer, 2009)

No entanto a forma de desalinhamento mais comum é o **desalinhamento combinado** (Angular e Paralelo). Este tipo de desalinhamento configura uma sobreposição de efeitos dos dois tipos de desalinhamento anteriores.

- **Empenos**

Um eixo empenado comporta-se como um eixo desalinhado, por essa razão a sintomatologia aplicável é a mesma que foi indicada para o desalinhamento.

- **Folgas e Desapertos**

As folgas mecânicas causam vibrações geralmente em frequências múltiplas e pares da rotação do eixo e também de altas ordens (vibrações 1×RPM, 2×RPM, 3×RPM, etc), como é

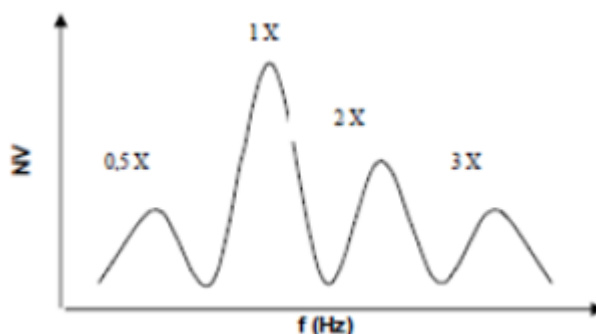


Gráfico 5 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas na placa de base (Spamer, 2009)

possível ver no Gráfico 5. A característica mais importante é o aumento de vibração na direção de fixação, quase sempre na vertical. Assim podem referir-se 3 tipos de folgas:

Tipo I – Referem-se a folgas estruturais relacionadas com falta de rigidez na fundação ou nos apoios do equipamento. Neste grupo também se incluem deformações na base de apoio do equipamento.

As vibrações amplificadas por este tipo de defeitos são geralmente predominantes na direção vertical e são mais evidentes na base de apoio do equipamento.

Tipo II - Neste grupo enquadram-se as folgas na fixação dos apoios do veio em rotação. A força devido ao desequilíbrio quando dirigida para cima e para baixo gera a frequência de $2x$ RPM do eixo num sensor colocado na vertical do apoio. Do mesmo modo quando a folga for lateral, também ocorre a frequência de $2x$ RPM do eixo num sensor disposto na horizontal. No Gráfico 6 é possível verificar um exemplo de um espectro esquemático do tipo de folga II.

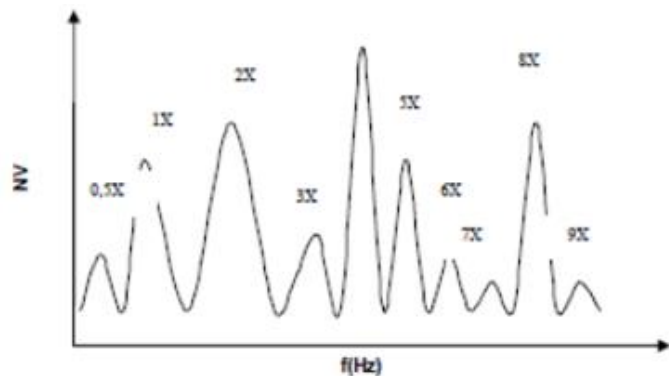


Gráfico 6 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas do tipo II (Spamer, 2009)

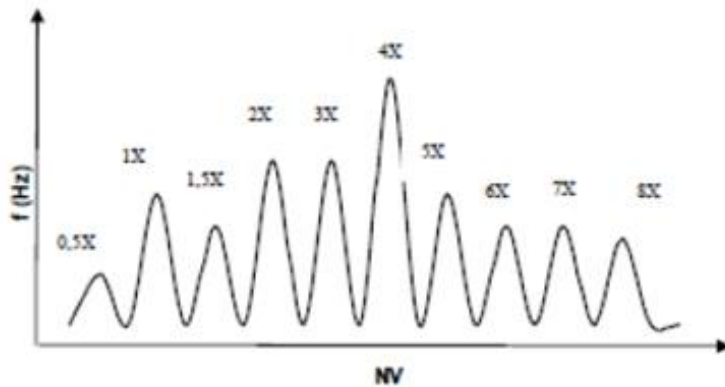


Gráfico 7 Espectro esquemático de vibrações devido a folgas do tipo III (Spamer, 2009)

Tipo III - São folgas geradas por fixação inadequada entre as peças da máquina. Deve-se referir que este tipo de defeitos causa um elevado ruído de chão. É ainda importante referir que as componentes radiais são muito diferentes, sendo nesta direção têm uma amplitude maior que na direção axial. No Gráfico 7 é possível verificar um exemplo de um espectro esquemático dos tipos de folga III.

Repare-se que as principais causas para a existência de folgas mecânicas são: montagem incorreta; desgaste excessivo; problema na fundação e componentes fraturados.

- **Defeitos em rolamentos**

Quando existe uma falha num rolamento, esta tende a manifestar-se em 4 frequências características, sendo essas frequências: *BPI* – Frequência de falha na pista interior; *BPO* – Frequência de falha na pista exterior; *BS* – Frequência de falha no elemento rolante; *FT* – Frequência de falha na gaiola. O Gráfico 8 mostra um espectro típico que indica falha nos rolamentos.

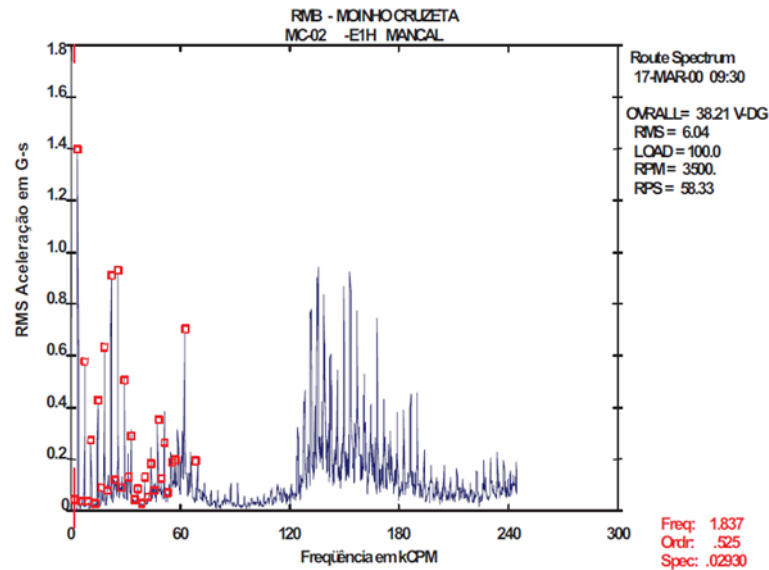


Gráfico 8 Espectro característico de Falha de Rolamento (Spamer, 2009)

3.3.2. Análise Termográfica

A termografia é um ensaio não destrutivo que tem como princípio a medição de temperatura pelo método da radiação infravermelha. O objetivo principal é detetar e diagnosticar elevadas temperaturas e acréscimos de temperatura, tanto em sistemas mecânicos como em elétricos.

William Herschel (1738-1822) descobriu a energia infravermelha. Este por volta do ano 1800 testou qual a capacidade da luz decomposta, a partir de um prisma, pode ter no aquecimento de uma superfície. Herschel descobriu que o aquecimento máximo ocorre para lá da luz vermelha (FLIR, 2009)

Fisicamente a luz visível, radiação infravermelha e radiação ultravioleta podem ser caracterizados como ondas eletromagnéticas. Estas ondas são perturbações periódicas que mantêm a sua forma enquanto vão progredindo no espaço e no tempo.

A periodicidade espacial é chamada de comprimento de onda, λ (medido em metros, micrómetros, nanómetros, etc), a periodicidade transiente é chamada de período de oscilação, T (em segundos), em que a frequência é, $\nu = 1/T$ (em s^{-1} ou Hertz). Estes parâmetros estão relacionados diretamente com a velocidade de propagação de onda, dada pela Equação 6. Esta velocidade depende do tipo de onda (sonora, eletromagnética, etc) (Möllmann & Vollmer, 2010).

$$c = \nu \cdot \lambda$$

Equação 6 Velocidade de propagação da onda

O espectro eletromagnético é dividido arbitrariamente em diversas regiões de comprimento de onda, designada por bandas, distinguidas pelos métodos utilizados para produzir e detetar a radiação. Não existem diferenças fundamentais entre a radiação nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, pois geram-se todas pelas mesmas leis e as únicas diferenças devem-se às diferenças no comprimento de onda. A Figura 15 apresenta um espectro eletromagnético com os diferentes comprimentos de onda.

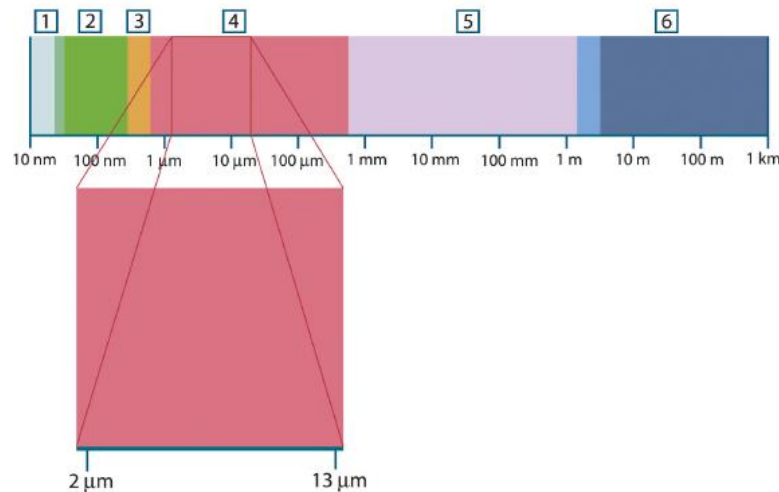


Figura 15 Espectro eletromagnético. [1] Raio X; [2] Ultravioleta; [3] Visível; [4] Infravermelhos; [5] Microondas; [6] Ondas radioelétricas

A termografia utiliza a banda espectral de infravermelhos. Verifica-se que na extremidade de onda curta a fronteira situa-se no limite da percepção visual, na área a vermelho, na outra extremidade (onda longa), funde-se com os comprimentos de onda das microondas e radioelétricas, em termos de milímetros (FLIR, 2009). A termografia utiliza a radiação térmica para quantificar a temperatura emitida pelas superfícies, como foi referido anteriormente. Qualquer superfície à temperatura de zero absoluto ($T = 0K$ ou $T = -273,15^\circ C$) não emite radiação eletromagnética. A quantidade de radiação depende da temperatura (quanto mais quente a superfície mais energia emite) e propriedades do material (Möllmann & Vollmer, 2010).

O processo de radiação de uma superfície é chamado de radiosidade. A radiosidade pode acontecer sobre três formas: emitida a partir da superfície; ou transmitida através da superfície. A radiosidade total é igual à soma da componente emitida, da componente refletida e da componente de transmissão. A temperatura da superfície está relacionada com a energia emitida. Assim para determinar a temperatura de uma superfície é necessário subtrair, à energia emitida, as energias refletida e transmitida (EPRI, 2002).

É de referir as duas leis mais importantes que definem o comportamento radiante: a lei de Stephan-Boltzmann e a lei de Wien. A lei de Stephan-Boltzmann determina que a energia emissiva total de um corpo negro é proporcional à quarta energia da sua temperatura absoluta. A fórmula que define esta lei é apresentada na Equação 7:

$$W = \delta \xi T^4$$

Equação 7 Lei de Stephan-Boltzmann

Em que W representa o fluxo radiante emitido por unidade de área (watts/cm^2); ξ representa a emissividade (consiste na medição da gama de radiação emitida pelo objeto, comparativamente à que é obtida por um corpo negro perfeito com a mesma temperatura); δ é a constante de Stephan-Boltzmann ($5,673 \times 10^{-12} \text{ watts/cm}^2$) e T é a temperatura absoluta do alvo (K).

Em relação à lei de Wien (expressa pela Equação 8) esta define qual o comprimento de onda máximo para a máxima energia emitida pela superfície. Esta lei é importante para a escolha do equipamento de medição a utilizar dentro da gama de comprimento de ondas a ser analisadas (FLIR, 2009).

$$\lambda_m = b/T$$

Equação 8 Equação da Lei de Wien

Note-se que λ_m representa o comprimento de onda da radiação máxima (em mm) e b é a constante de deslocamento de Wien (2897 $\mu\text{m}\cdot\text{K}$).

É necessário referir que as superfícies podem ser classificadas em três categorias: corpo negro, corpo cinzento e corpo não cinzento. Corpo negro é aquele que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide e nenhuma luz o atravessa (somente em casos específicos) nem é refletida. O corpo negro tem a maior emissividade e radiosidade em todos os comprimentos de onda, em comparação com qualquer outro corpo e absorve toda a energia disponível na superfície. Um corpo cinzento possui emissividade constante menor que o corpo negro $\varepsilon < 1$ e a transmissão é nula. Num corpo não cinzento possui emissividade que varia ao longo de diferentes comprimentos de onda, existindo também a reflexão e transmissão da radiação infravermelha.

A técnica termográfica mais usada na indústria é a comparação termográfica, sendo que esta pode ser quantitativa ou qualitativa. A análise qualitativa deve ser utilizada sempre que se pretende uma abordagem superficial do problema onde apenas pela observação e sem grandes detalhes de medição, se pode avaliar termicamente o objeto em estudo. As imagens termográficas podem ser obtidas com emissividade constante, uma vez que se pretende visualizar as diferenças de temperatura superficiais. A interpretação pode ser feita no local do ensaio termográfico. Na análise quantitativa, são calculadas as temperaturas superficiais através de uma imagem termográfica e parâmetros analíticos. O ensaio termográfico requer mais detalhe e condições de ensaio mais rígidas, demorando mais tempo, mas é mais eficaz que a análise qualitativa, uma vez que permite medir temperaturas. Os resultados da análise quantitativa são gravados e anotam-se todos os parâmetros que se considerem essenciais para análise posterior. Toda a informação recolhida durante o ensaio é processada no software de análise, por exemplo o *FLIR TOOLS*, e posteriormente interpretada, realizando-se um relatório completo (Specman, 2010).

A aplicação da monitorização de equipamentos através da análise termográfica implica a definição de critérios para avaliação desta análise. Um dos critérios possíveis para a avaliação do equipamento é o uso da diferença de temperaturas (indicado por ΔT).

O critério que irá ser utilizado nas análises termográficas define a rapidez da intervenção a efetuar de acordo com o valor obtido através da subtração do maior valor de temperatura em relação a uma temperatura de referência, que normalmente é a temperatura do ar ambiente, um componente semelhante nas mesmas condições ou temperatura máxima admissível do componente (Hitchcock, 2003). A Tabela 2 apresenta os valores de ΔT para avaliar o estado da condição do equipamento.

Tabela 2 Ações recomendadas em função da diferença de temperaturas (NETA, 1999)

Prioridade	ΔT entre componentes similares sobre a mesma carga	ΔT sobre a temperatura do ar ambiente	Ação Recomendada
1	1 a 3 °C	1 a 10 °C	Possível deficiência, garantir investigação.
2	4 a 15 °C	11 a 20 °C	Indica provável deficiência, reparar quando for possível.
3	---	21 a 40 °C	Monitorizar até medidas corretivas serem implementadas.
4	> 15 °C	> 40 °C	Maior discrepância, reparar de imediato.

Também é possível juntar a este método o histórico do equipamento como forma de identificar variações na temperatura medida ao longo do tempo, assim é possível retirar todas as capacidades das análises termográficas.

Como foi referido anteriormente a análise termográfica pode ser aplicada em sistemas mecânicos e a sistemas elétricos. Os sistemas mecânicos estão associados a equipamentos rotativos e a análise termográfica utiliza o calor gerado pela fricção e desgaste para verificar o estado dos equipamentos. Algumas razões comuns para falhas mecânicas são aumento da carga sobre o rolamento, levando a um desgaste prematuro; aumento das tensões do equipamento e aumento das forças que são aplicadas ao equipamento, tais como componentes soltos. As formas mais comuns de deterioração mecânica de um sistema são desequilíbrio, desalinhamento, folgas, componentes danificados, tais como rolamentos, engrenagens, palhetas, entre outros.

Em relação aos sistemas elétricos o problema mais comum é o aumento da resistência elétrica. A partir da lei de Ohm, que indica que a potência (em watts) é igual à corrente (em Amperes) ao quadrado multiplicada pela resistência elétrica (em ohm's)) é possível verificar que com o aumento da resistência existe um aumento da energia. Em consequência esse aumento traduz-se num aumento da temperatura nesse local, devendo-se ao facto das conexões elétricas estarem soltas, oxidadas ou corroídas. Com a termografia também é possível identificar circuitos abertos, ou seja, quando existe uma falha de um componente os pontos na imagem térmica são identificados como zonas frias.

Por fim é de referir que uma combinação da termografia com a análise de vibrações aumenta a capacidade de deteção de problemas nos equipamentos/máquinas, ou seja, estes dois tipos de análises complementam-se.

4 Enquadramento do projeto

Antes de mais devem referir-se alguns aspetos relacionados com a secção na qual o projeto está inserido, começando-se pela caracterização das áreas existentes, respetivos equipamentos e organização. Posteriormente faz-se uma descrição da situação inicial de funcionamento da manutenção.

4.1. Caracterização da secção

A secção do Primário, como referido é responsável pelo tratamento da folha de tabaco. Para tal recorre-se a diversos equipamentos responsáveis pela alimentação, transporte, corte, secagem, enchimento, embalagem, entre outros. De modo a permitir uma melhor compreensão de todo o processo é necessário definir os equipamentos mais importantes para o departamento da manutenção.

Relativamente à secção esta divide-se em áreas. O conceito de área neste contexto refere-se ao nome genérico com base no conjunto de equipamentos que executa determinada função. Refira-se a título de exemplo a área do *infeed* na qual todos os equipamentos existentes têm a função de alimentar as linhas de produção. Repare-se que existem várias linhas de produção para diferentes produtos, diferenciados de um modo global por marca. Cada marca de produto tem uma composição específica com dosagens predefinidas, condições diferentes de fabrico, passando por equipamentos industriais característicos.

A matéria-prima é evidentemente tabaco em folha, sendo depois distribuído pelas linhas de acordo com o produto ou marca a fabricar. Note-se que de acordo com a marca, como indicado anteriormente, nem todos os produtos passam obrigatoriamente pelos mesmos equipamentos e áreas.

Após o tratamento os produtos podem ter dois destinos: exportação ou fornecimento interno. Em relação ao produto exportado divide-se em três grupos de acordo com as necessidades da afiliada a que se destina. Assim podem ser produtos como o *BBS* (Basic Blend Strips), folhas de tabaco não finalizadas para abastecer afiliadas, *TPM's* (Third Party Manufacturers) para fábricas que não possuem secção do Primário e *cutfiller*. Quanto à restante produção, para abastecimento da secção do Secundário, passa pelo acondicionamento do *cutfiller* em *bins* (unidades de acondicionamento) que são depois transportados até ao *Robot* que faz a alimentação ao Secundário.

A nível organizacional, existem operadores dedicados para determinados equipamentos. Por outro lado o trabalho nos restantes equipamentos é supervisionado a partir de uma sala de controlo por meio de câmaras de vigilância. Nesta sala é possível averiguar de imediato eventuais avarias ou paragens, sendo possível com o auxílio de um sistema de interface homem-máquina controlar os equipamentos.

4.2. Manutenção na secção

Um dos departamentos mais importantes na secção é o da Manutenção, uma vez que as linhas são muito automatizadas e é necessário fazer um bom acompanhamento das máquinas, evitando o risco de paragem na produção.

A empresa é efetivamente bastante cuidadosa no que se refere a este departamento, tendo já sido implementados variados projetos de modo a melhorar o sistema de manutenção. Assim

passou-se de um sistema exclusivamente corretivo, no qual um grupo de técnicos reparava os equipamentos após avaria, conduzindo a constantes paragens na produção (envolvendo elevados custos) para um sistema de manutenção preventiva que se revelou bastante eficiente decrescendo o número de avarias, paragens na produção e consequentemente custos associados.

Após estas alterações desenvolveram-se planos de manutenção preventiva, consistindo em cinco tipos diferentes de ordens, designados a nível da empresa por: PM01 a PM05. A Tabela 3 apresenta cada código de ordem de manutenção e respetiva designação.

Tabela 3 Tipos de ordens da manutenção na empresa

Código	Designação
PM01	Manutenção Corretiva
PM02	Manutenção Corretiva Planeada
PM03	Manutenção Preventiva
PM04	Reparação em oficina
PM05	Ordens Permanentes

O primeiro código refere-se à corretiva, indicada quando existe uma avaria inesperada e tem que ser resolvida num período de tempo pré-definido. A corretiva planeada referente ao segundo código surge aquando de uma avaria não urgente, não exigindo uma reparação imediata, possibilitando o planeamento em data conveniente. As ordens PM03 estão à priori definidas para cada equipamento, sendo planeadas mensalmente, trimestralmente ou semestralmente de acordo com o tipo de máquina. Estas ordens saem semanalmente de modo automático por meio do sistema de gestão SAP. Em relação à PM04 esta é utilizada quando é necessário fazer uma reparação em oficina. Finalmente o quinto tipo de ordem refere-se a ordens permanentes (são abertas no início do ano e fechadas no final do ano) para substituição, a título de exemplo, de peças de determinado equipamento que está sujeito a elevado desgaste.

Relativamente ao departamento de manutenção, é composto por dezasseis técnicos, oito da área da mecânica e oito de eletrotécnica, trabalhando em regime de laboração contínua, em turnos de 12 horas. Estes técnicos são os responsáveis pela execução da inspeção e manutenção dos equipamentos. Existem dois supervisores de turno, responsáveis pelos técnicos e pelo planeamento do trabalho, em termos de inspeções e manutenções a realizar. Neste contexto surgem os conceitos de abertura e fecho indicando se uma ordem está ou não em execução. Assim a abertura e fecho de ordens, é uma função executada pelo suporte técnico.

É de referir que apesar de já existirem bons planos de manutenção preventiva, estes apresentam problemas que necessitam de ser resolvidos. Em relação às ordens PM03, estas saem semanalmente (como foi referido anteriormente) em folhas pré-definidas com uma *task list* (lista de componentes aos quais se deve fazer verificação) que os técnicos têm de seguir. Nas ordens estão definidos os técnicos necessários para a inspeção, informação do tempo necessário para levar a cabo a inspeção e a *task list*. Cada ordem de preventiva possui indicação da quantidade de tempo e horas definidas de inspeção, como referido anteriormente,

em que variam consoante a importância e o tamanho do equipamento. As inspeções demoram normalmente entre duas a oito horas.

Note-se que existem diversos problemas relacionados com as ordens de preventiva, tais como, a *task list* ser demasiado extensa o que torna a inspeção mais difícil e menos pormenorizada e o facto de existirem algumas *task lists* demasiado genéricas e desadequadas para equipamentos semelhantes.

É de referir ainda que o departamento de manutenção tem destinado alguns indicadores, como a título de exemplo, a taxa de ocupação por cada ordem de manutenção, o cumprimento do plano das PM03 e o controlo de custos.

Alguns dados relativamente à taxa de ocupação das ordens de manutenção preventiva (PM03) são de referir. Note-se que numa fase inicial, antes do método atualmente usado a taxa de ocupação das PM03 era apenas de 10%, mas ao longo do tempo com a introdução do novo sistema foram melhorando e neste momento a taxa de ocupação é de mais de 50%.

4.2.1. Aplicação da manutenção baseada na condição

Partindo de uma análise detalhada da situação inicial na secção, nomeadamente no departamento da manutenção foi possível concluir que a introdução da manutenção condicionada trará vantagens. Assim poderá ajudar a reduzir o tempo inicial destinado à preventiva, tendo como consequência um aumento no tempo disponível por técnico. Tal fornece-lhes mais tempo para realizar as PM03 (preventivas) com maior cuidado, precisão e rigor.

Para uma implementação bem-sucedida do projeto é necessário referir que a manutenção condicionada irá ser realizada antes da manutenção preventiva, de modo a garantir que se dá maior atenção aos equipamentos mais críticos.

Relativamente à análise de vibrações, a condicionada deve ser realizada três semanas ou um mês antes da preventiva, isto porque ao fazer primeiramente uma análise de vibração ao equipamento ou máquina, permitindo que se encontrem anomalias, poderá fazer-se uma corretiva planeada (PM02) para a semana de preventiva (PM03) já existente.

Em relação à termografia, os técnicos terão que levar a câmara para fazer as inspeções aos quadros elétricos para facilitar a sua inspeção, o que neste momento não acontece. A termografia também irá funcionar como um complemento à análise de vibrações. A Figura 16 refere-se a um planeamento da manutenção preventiva e condicionada para os equipamentos.

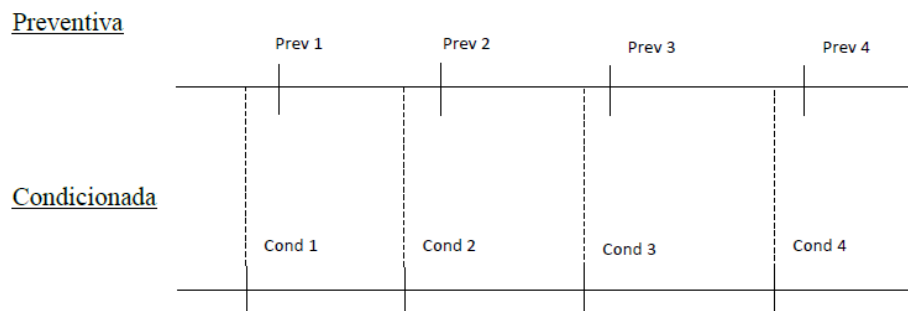


Figura 16 Aplicação da manutenção condicionada

5 Desenvolvimento do projeto

O presente capítulo refere-se às etapas realizadas para obter um bom plano de manutenção condicionada. De modo a simplificar o projeto, serão analisadas cada uma das etapas para a criação da solução e dos planos finais. Inicialmente, assim como já referido na dissertação foram definidos critérios de seleção, criando-se com base nestes um grupo de equipamentos considerados críticos, foi depois necessário fazer um procedimento englobando todos os passos para análise das máquinas, permitindo criar um *standard* para análise e monitorização dos equipamentos, criando em simultâneo, instruções de utilização dos aparelhos de medição. Assim foi possível desenvolver testes, analisar resultados e tirar conclusões de cada monitorização.

5.1. Definição dos critérios de seleção

Devido à impossibilidade de fazer uma análise profunda de todos os equipamentos existentes por aplicação da manutenção condicionada surge a necessidade de definir critérios para definir um conjunto de equipamentos considerados críticos. O primeiro critério definido foi a criticidade em relação ao processo. Esta avaliação foi previamente elaborada e já estava estabelecida no sistema de gestão SAP, com classificações de 1 a 5, sendo 1 o equipamento menos crítico e 5 o mais crítico.

Verificou-se contudo que existia a necessidade de criar critérios complementares, como tal definiu-se o critério de número de avarias por equipamento (equipamentos com maior número de intervenções). Assim partindo igualmente do sistema SAP procedeu-se à recolha de dados relativos ao número de avarias por equipamento: tipo e número de intervenções (PM01 e PM02), nome do equipamento e respetivo gráfico (número de intervenções por equipamento).

A título de exemplo apresenta-se em seguida o gráfico referente às ordens PM01 (Gráfico 9).

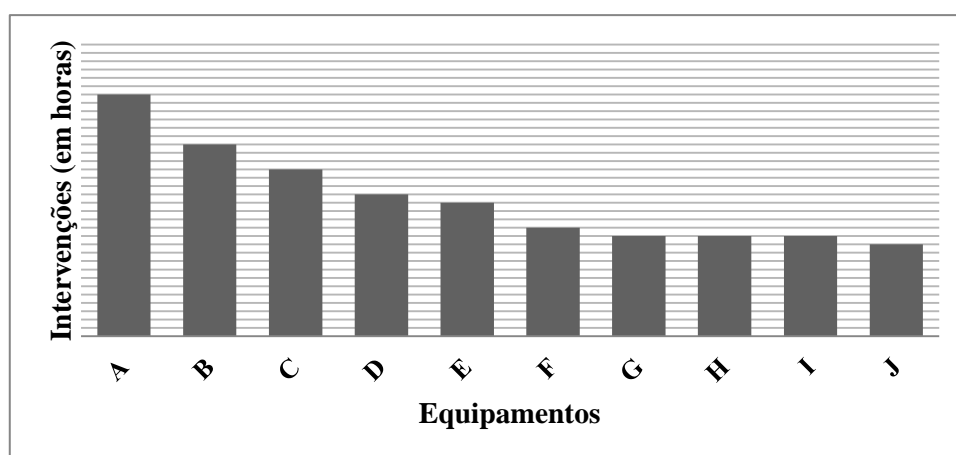


Gráfico 9 Número de intervenções PM01 em 2012

Repare-se que o Gráfico 9 devido a questões de confidencialidade apenas apresenta a distribuição do número de intervenções (ordenada do gráfico) em relação aos equipamentos (indicados pelas letras entre A e J). Com esta análise foi possível definir o grupo crítico. É contudo de notar que após um estudo aprofundado de análise de vibrações e termografia e pesquisa em campo concluiu-se que a monitorização iria aplicar-se em ventiladores e quadros elétricos, reduzindo o grupo. Refira-se que relativamente aos ventiladores estes são compostos

por um sistema - um motor que faz a transmissão por uma correia a um veio (com duas chumaceiras, com rolamentos) ligado ao ventilador. É de notar que ao medir as vibrações nas chumaceiras capta-se as vibrações com origem no veio, como em todo o rotor, incluindo turbina, e também no motor e correias.

A sua análise baseia-se também no facto de serem equipamentos com maior risco de avaria (segundo o histórico), custo de componentes de substituição mais elevados e mais altos custos de paragem. Outra das razões que levaram à análise aos quadros elétricos, foi o facto de antes a Tabaqueira, E.I.T contratar todos os anos uma empresa externa para fazer uma análise termográfica aos quadros, o que implicava um grande investimento anual. É portanto essencial fazer a análise a estes equipamentos para mais tarde já não ser necessário a contratação de uma empresa externa, estando a empresa em estudo apta para fazer este tipo de análise.

Repare-se ainda que para proceder a uma análise de vibrações e termografia foi necessário realizar procedimentos e instruções de trabalho que serão descritos em seguida.

5.2. Procedimentos

Antes de mais é necessário referir que os procedimentos são uma ferramenta que ajudam a standardizar os trabalhos a serem realizados. Coimbra (2009) refere que “a criação de trabalho *standard* significa atingir um estado de fluidez nos movimentos dos operadores de forma que o trabalho será elaborado no menor espaço de tempo e com qualidade perfeita – criando trabalho com valor acrescentado”. De facto para além de um suporte técnico os procedimentos criados, com base em normas internacionais permitem criar um *standard* para todos os técnicos, de forma que não exista desperdício a nível de tempo (com procura de informação, aparelhos ou dúvidas) e criando uma maior qualidade no trabalho desempenhado, uma vez que houve um estudo prévio de modo a definir o procedimento adequado para a realização do trabalho.

Os procedimentos de análise de vibrações e de termografia, em ANEXO A (devido ao seu tamanho terão que ser consultados enquanto se especificam no presente texto a sua utilização e a própria criação), permitem visualizar as especificações necessárias e as etapas para monitorização dos equipamentos.

5.2.1. Procedimento de análise de vibrações

Inicialmente foi necessário elaborar uma pesquisa exaustiva em análise de vibrações. Como este tipo de análise é um processo difícil foi necessário fazer um procedimento e uma instrução de trabalho direcionado maioritariamente aos técnicos para facilitar a compreensão. Definiram-se de forma teórica todas as etapas necessárias para esta análise, descrevendo depois o procedimento.

Antes de mais é de referir que esta análise é feita partindo da utilização de um equipamento portátil e para análise dos dados foi utilizado um *software* específico (*SpectraPro*⁵), associado a esse equipamento.

⁵ *SpectraPro* é um *software* que pertence ao medidor de vibrações e que permite obter os resultados das medições realizadas nos equipamentos.

5.2.1.1. Definição de Inputs

Primeiramente foi necessário fazer um estudo ao *software* existente, no qual se concluiu que seria necessária a introdução de inputs. Após este estudo verificou-se a necessidade de uma recolha de características mecânicas e nominais dos equipamentos. Deste modo, definiu-se que seriam utilizadas as seguintes características: potência e velocidade de rotação do motor (em KW e rpm, respetivamente); frequência do motor (em Hz); rolamento dos motores (designação); comprimento das correias (em mm); diâmetro das polias (em mm) e rolamento das chumaceiras (designação).

Para obter estas informações foi fundamental fazer uma pesquisa exaustiva em catálogos, no sistema de gestão SAP e em campo, ou seja, nos próprios equipamentos. Após a recolha destes *inputs* é apenas necessária a introdução dos mesmos no software. Como foi referido anteriormente, procedeu-se a um estudo da norma ISO 10816 (existente no próprio programa), uma vez que é essencial definir alarmes de vibração, ou seja, o valor máximo de vibração admissível para cada máquina. Assim é definido de acordo com as dimensões do equipamento, em potência, para máquinas pequenas a potência típica pode atingir 15 KW, para máquinas médias pertence ao intervalo de 15 a 75 KW e é por fim, nos equipamentos de maior dimensão superior a 75 KW. No que refere à vibração dos rolamentos, foi necessário consultar gráficos normalizados para melhor compreensão dos resultados obtidos (normas descritas em 3.3.1.1).

É necessário referir ainda que o *software* apresenta-se na forma de “árvore” (Figura 17), sendo esta constituída pelos equipamentos a analisar e os eixos em que as medições são realizadas (horizontal, vertical ou axial), o que facilita o trabalho do técnico.

Refira-se ainda que os *inputs* já foram introduzidos no software, ou seja, o técnico já não precisa de inserir qualquer tipo de informação adicional para as análises, apenas terá que fazer introdução de inputs caso pretenda acrescentar algum equipamento ou máquina.

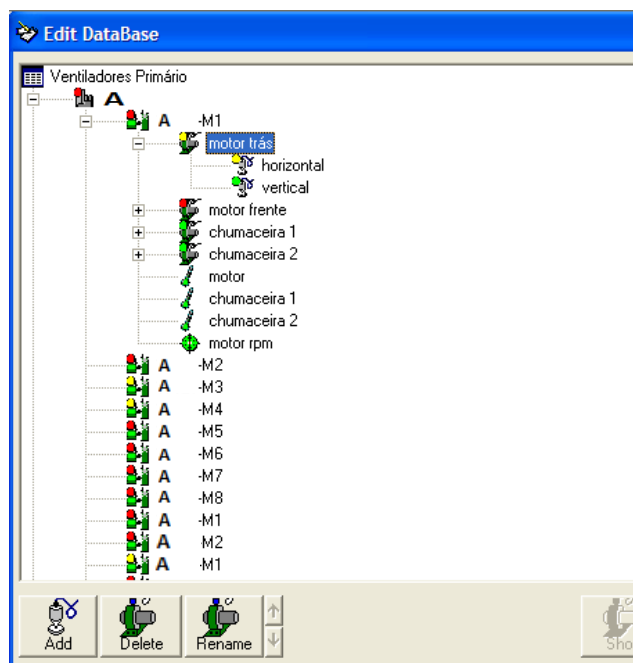


Figura 17 "Árvore" do *software*

Para facilitar o trabalho dos técnicos, no procedimento também foram incluídos os tipos de avarias que são possíveis encontrar em ventiladores (equipamentos selecionados para executar

a análise, como referido no capítulo 5.1), tais como: eixo torcido; pás do ventilador desgastadas; acoplamentos desalinhados; defeitos nos mancais⁶; problemas de rigidez pelo mau contacto da superfície de apoio; estrutura do conjunto e desalinhamento/desgaste de correias.

Note-se que esta análise foi necessária para perceber que tipo de avarias nos ventiladores e motores são possíveis encontrar através da análise de vibrações, tais como: rolamentos danificados; engrenagens defeituosas; acoplamentos desalinhados; rotores desequilibrados; eixos deformados; lubrificação deficiente; folgas excessivas; falta de rigidez, entre outros.

5.2.1.2. Execução do teste

Relativamente à execução do teste, é neste ponto que há uma ação mais prática de monitorização do equipamento. Assim sendo, após a inserção dos dados é necessário criar uma *route*⁷ para introdução da “árvore” dos equipamentos já com todos os *inputs* necessários e transferir o ficheiro do computador para o medidor de vibrações através de um cabo *USB*.

De seguida os técnicos apenas têm de seguir essa *route* e fazer as análises aos equipamentos. Assim que se realizam todas as medições é necessário voltar a passar a informação recolhida para o computador e fazer a avaliação e diagnóstico dos equipamentos. É de referir que não houve necessidade de se desenvolver qualquer tipo de ferramenta auxiliar (por exemplo uma base de dados em *Excel*) para a análise dos dados, devido ao facto de o próprio *software* já executar a transformação desses dados em gráficos de tendência (isto é, gráficos que mostram a evolução do estado do equipamento) e espetros. Após todos os passos mencionados será feita uma análise detalhada de cada medição realizada.

5.2.1.3. Leitura de resultados

Como referido anteriormente, o *software* transforma os dados obtidos em gráficos de tendência e espetros. Estes são portanto os *outputs* do sistema, sendo por isso os resultados a analisar. Com o objetivo de compreender este estudo, apresenta-se o gráfico de tendência (Gráfico 10) e respetivo espetro obtido (Gráfico 11).

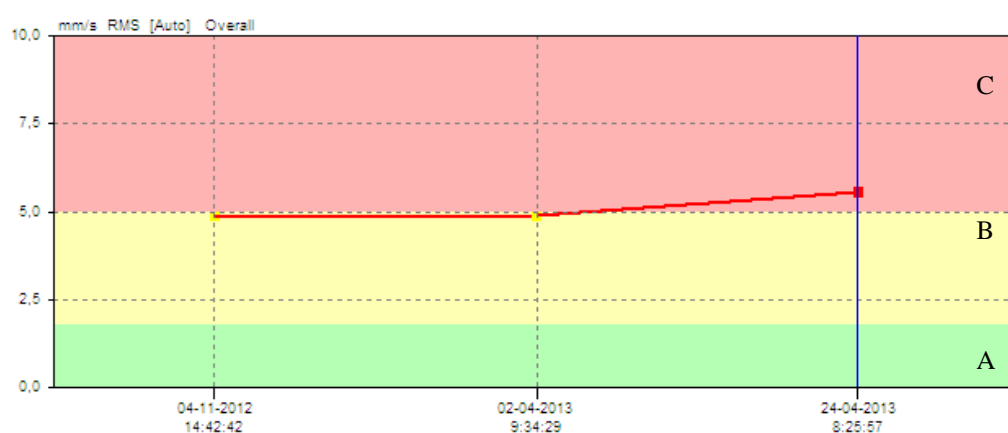


Gráfico 10 Tendência de vibração do equipamento (A- zona verde; B – zona amarela; C- zona vermelha)

⁶ Mancal é o conjunto rolamento e chumaceira.

⁷ Lista para inclusão da árvore

Neste exemplo é possível verificar que a tendência global de vibração do equipamento está a aumentar e já se encontra na zona vermelha (de *danger*, ou seja perigo), indicando que é necessário fazer uma inspeção e possivelmente a manutenção ao equipamento.



Gráfico 11 Espectro de frequências

Quanto ao espectro verificam-se indícios de desequilíbrio, indicando portanto a necessidade de acompanhar a situação. Como foi possível ver neste exemplo é necessário fazer um controlo do nível vibratório e da velocidade de rotação do equipamento, uma vez que estes parâmetros podem indicar ou sinalizar eventuais problemas. É ainda de referir a necessidade de se verificar a existência de frequências críticas, uma vez que permitem demonstrar possíveis desequilíbrios, desalinhamentos, problemas em rolamentos, entre outros, no domínio do funcionamento do equipamento. Tal significa que é fundamental analisar o espectro de frequências, verificando a existência dessas frequências críticas ou anormal, podendo indicar uma anomalia.

Para melhor compreensão deste procedimento e para auxiliar o trabalho dos técnicos no diagnóstico de problemas, em anexo incluiu-se exemplos de espectros de frequências críticas, que permitem que se faça uma comparação com os resultados obtidos, simplificando a sua análise.

É importante referir que é essencial o acompanhamento da evolução do nível vibratório do equipamento, realizando monitorizações e em casos em que se encontrem problemas mais graves proceder à monitorização mais frequente do equipamento ou máquina em questão.

Por fim, após avaliação e diagnóstico do equipamento, pode indicar se existe ou não necessidade de intervir na máquina. Para tal recorre-se a uma tabela com os níveis de severidade (ver Tabela 4), permitindo um melhor diagnóstico e compreensão do estado da máquina. Esta está igualmente incluída no próprio documento, na qual se esclarece que tipo de ação deve ser tomada. Com a definição e utilização desta tabela, a intervenção aos equipamentos será feita por ordem de prioridade, mas nunca pondo de parte equipamentos com problemas menos urgentes ou graves que também necessitem de intervenção.

Tabela 4 Graus de severidade (www.miiit.pt)

1	Condição de funcionamento aceitável.
2	Acompanhar. Anomalia em estado inicial ou requer avaliação. O equipamento pode funcionar por períodos longos, sem restrições. Nenhuma ação necessária ou recomendada, ação básica (inspeção ou lubrificação).
3	Anomalia em desenvolvimento. O equipamento pode funcionar por períodos limitados ou com acompanhamento atento. Acompanhar a evolução e planear uma intervenção a médio prazo.
4	Anomalia severa. Níveis de vibração elevados, capazes de acelerar a degradação do equipamento. Planear uma intervenção na próxima paragem programada do equipamento.
5	Emergência. Níveis de vibração perigosos para o equipamento, capazes de provocar uma falha iminente. É necessária uma intervenção imediata.

Relativamente aos relatórios da análises de vibração não foi necessário desenvolver qualquer tipo de ferramenta de análise, uma vez que o *software* utilizado permite guardar todas as medições realizadas. Para facilitar a consulta dos resultados, a melhor forma proposta foi executar a transferência dos gráficos (manualmente) para o *Excel* e posteriormente fazer a análise mais detalhada dos mesmos. No ANEXO B é possível visualizar um relatório modelo.

5.2.2. Procedimento de termografia

Para a execução do procedimento para análise termográfica partiu-se igualmente de uma pesquisa exaustiva dentro desta temática. Antes de conceber o procedimento foi preciso perceber todas as etapas essenciais para uma correta análise.

5.2.2.1. Definição de equipamentos

Antes de mais, tal como efetuado para a realização do procedimento de análise de vibrações foi necessário definir os equipamentos em que esta análise iria incidir.

Os equipamentos que foram analisados são maioritariamente quadros elétricos, devido ao facto de serem os mais importantes neste tipo de análise. Também se usou a termografia em motores, rolamentos, correias e polias para fazer o complemento à análise de vibrações, conclui-se então que a termografia foi realizada em sistemas elétricos e sistemas mecânicos.

É de referir a necessidade de perceber que tipos de avarias podem ser identificados com a análise termográfica. Em relação a sistemas elétricos, as avarias que podem ser identificadas são: ligações soltas, oxidadas ou corroídas; componente defeituoso; erro de montagem e equipamento mal dimensionado. A termografia em relação ao sistema mecânico utiliza o calor gerado pela fricção e desgaste para verificar o estado dos equipamentos, ou seja, os problemas detetados com esta análise são: aumento da carga sobre o rolamento (levando a um desgaste prematura); aumento das tensões do equipamento; aumento das forças que são aplicadas ao equipamento, tais como componentes soltos; entre outros. É de notar que as formas mais comuns de deterioração mecânica de um sistema são: desequilíbrio; desalinhamento; folgas; componentes danificados; entre outros.

O estudo dos equipamentos onde é feita a termografia e as possíveis avarias irá simplificar a forma de trabalho do técnico, uma vez que não dispõe de tempo para procurar este tipo de informação.

5.2.2.2. *Como realizar a análise termográfica*

É necessário referir que fazer uma análise termográfica é um processo complexo, uma vez que muitas vezes os resultados obtidos das análises conduzem a um diagnóstico errado. Para prevenir esse problema é necessário definir regras para obtenção de melhores resultados, tais como:

- O equipamento a ser inspecionado deve estar sobre a carga adequada (carga de funcionamento);
- Sempre que possível, os componentes similares com carga semelhantes devem ser comparados (esta é a melhor forma de termografia);
- Caso não seja possível a comparação de componentes similares, fazer comparação com o ponto mais frio (temperatura envolvente do equipamento) e o ponto mais quente encontrado na imagem termográfica;
- Devem ser usados critérios para definir prioridades de ação nos componentes analisados (Tabela 2, descrita em 3.3.2).

É necessário referir que quando se faz uma medição a um componente ou equipamento é preciso ter em conta a emissividade a usar (relação entre o poder emissivo de um corpo qualquer e a de um corpo negro). O aparelho de medição já tem emissividades pré-definidas, deve selecionar-se a desejada e ter em conta que ao usar uma emissividade errada, está-se igualmente a fazer uma errada medição podendo levar a um falso diagnóstico. Para ser mais fácil para o técnico perceber que emissividades deve utilizar, foi definido que, em sistemas mecânicos a emissividade deve ficar entre 0,8 e 0,9; enquanto nos sistemas elétricos e emissividade deve ser de 0,9, mas quando está presente apenas um tipo específico de superfície é necessário adaptar com a tabela pré-definida.

5.2.2.3. *Execução dos testes*

É de notar que para a execução de uma análise deve-se usar como auxílio uma lista com os equipamentos onde serão realizadas. Deve-se definir também se a análise será feita em modo automático, ou seja, a câmara é que vai definindo o intervalo de temperaturas, ou modo manual, no qual o técnico define esse intervalo. Contudo, para facilitar o trabalho a melhor forma de fazer medições é partindo do modo automático.

Tendo executado as etapas anteriores e considerando, como referido anteriormente, que o equipamento tem de estar em funcionamento para correta medição. Deve-se registar uma imagem térmica (e ao mesmo tempo a câmara tira uma digital, para comparação) do equipamento completo (para facilitar a localização) e depois aos seus componentes. Todas as medições ficam registadas no aparelho de medição (em cartão SD), sendo no final transferidas para o computador para análise e avaliação dos componentes.

5.2.2.4. *Leitura de resultados e relatórios*

Para a realização da análise de dados usa-se uma ferramenta chamada *FLIR TOOLS*⁸. Esta ferramenta disponibiliza diversos *templates* de relatórios, sendo apenas necessário escolher qual usar. Após a escolha do *template*, faz-se a seleção das imagens a analisar (que estão inseridas no cartão SD), sendo depois necessário inserir num campo do programa a data, identificação da empresa e a pessoa que realizou a análise. Depois destes passos, o relatório é

⁸ *FLIR TOOLS*, ferramenta utilizada para fazer os relatórios de termografia.

realizado num programa chamado *FLIR TOOLS*. A Figura 18 é um exemplo de uma imagem térmica e de uma imagem digital.

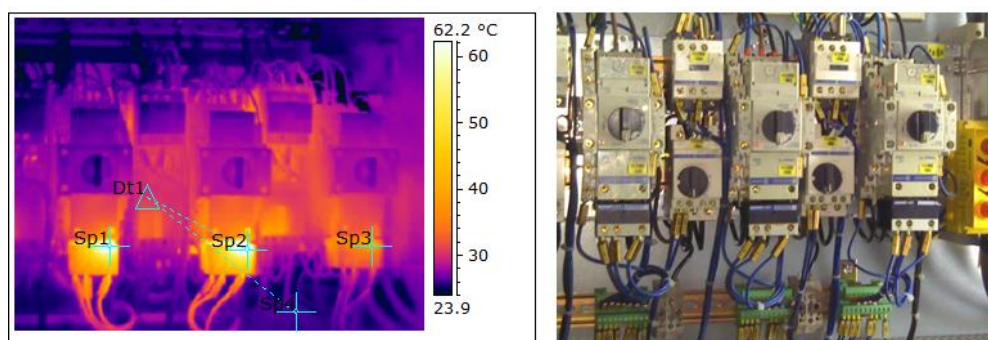


Figura 18 Conversores sobreaquecidos

Os pontos visíveis na imagem térmica (SP1, SP2, SP3 e SP4) foram definidos no processamento do relatório, pois existe uma função a partir da qual se pode escolher qualquer ponto da imagem, indicando-nos de imediato a que temperatura esse ponto se encontra. Esta função é bastante importante, uma vez que em campo nem sempre é possível perceber em que zona é que a temperatura se encontra mais elevada. Com o *Flir Tools* também é possível definir diferenças de temperaturas para perceber o estado atual do equipamento. Pela Tabela 2, é possível consultar essa diferença definindo o tipo de ação a tomar. A título de exemplo, note-se a diferença de temperaturas na Figura 18, entre o ponto SP2 (mais quente) e SP4 (mais frio), de 42,5 °C, que indica que deve haver uma intervenção imediata e fazer reparação logo que possível. Tal demonstra mais uma vez que a tabela tem um papel fundamental na correta avaliação e diagnóstico dos equipamentos. No relatório existe uma função designada isotérmica, que quando selecionado permite que o programa faça uma seleção de acordo com a temperatura. Deste modo procede-se à seleção de uma temperatura sendo que o programa identifica com determinada cor todas as temperaturas que estejam acima da indicada. Repara-se ainda que este programa funciona também para a sinalização de temperaturas abaixo da indicada ou no caso de se introduzir um intervalo de temperaturas. A Figura 19 apresenta portanto um exemplo de uma imagem isotérmica.

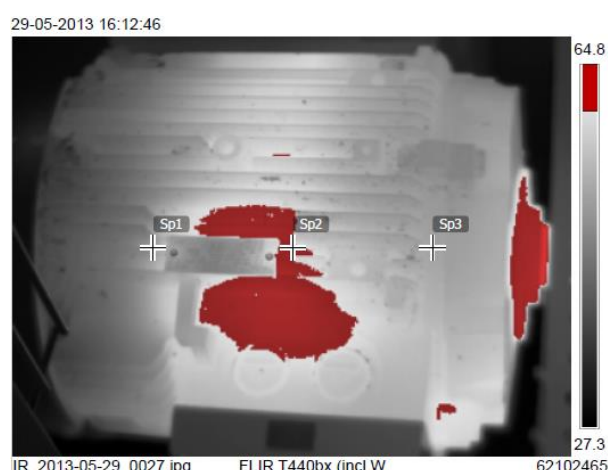


Figura 19 Imagem isotérmica

Como é observável na figura anterior procedeu-se à definição de uma temperatura máxima de 60 °C surgindo uma cor diferente as zonas onde se ultrapassa a temperatura (por exemplo no ponto SP2). Após o diagnóstico é apenas necessário escrever um comentário sobre o estado do equipamento e recomendar a necessidade de uma ação. Para visualização de relatório completo ver ANEXO C.

5.3. Utilização dos equipamentos de monitorização da condição

Como foi referido anteriormente, para implementar a manutenção baseada na condição é necessário adquirir equipamentos de monitorização. Um dos primeiros e maiores passos da empresa relativamente a esta manutenção foi a aquisição destes equipamentos, indicando que já havia consciência relativamente ao custo-benefício que este tipo de manutenção traria para a secção do Primário.

Os equipamentos de medição existentes na Tabaqueira, E.I.T são o *X-Viber* (medidor de vibrações) e o *FLIR T440bx* (captação de infravermelhos e/ou fotografias digitais). Deste modo, começa-se por descrever cada um dos equipamentos indicados. Relativamente ao equipamento *X-Viber* (Figura 20, (a)), trata-se de um medidor de vibrações para equipamentos rotativos. A sua principal função é fazer a deteção de problemas de desequilíbrios, desalinhamentos e falhas em rolamentos. Refira-se que o *X-Viber* fornece três leituras de vibração e uma de temperatura. As leituras de vibração são em relação à vibração global do equipamento medida em velocidade (em milímetros por segundo, mm/s), vibração da condição do rolamento (*BC – Bearing Condition*) medida em aceleração (em g's) e por fim à vibração “aceleração de envelope”, que indica igualmente o estado do rolamento (complementa a leitura de vibração anteriormente descrita). Relativamente ao parâmetro temperatura, é obtido por medição através do laser que se encontra já incorporado no equipamento de medição.

No que se refere à termografia, o equipamento de medição disponível é o *FLIR T440bx* (na Figura 20, (b)) e cuja principal função é captar imagens térmicas e digitais para posterior análise. Este equipamento é apropriado para fazer análises tanto a sistemas mecânicos como a elétricos. O *FLIR T440bx* tem a capacidade de fazer diferentes tipos de análises, a título de exemplo, *Thermal Fusion* (partindo de uma fusão de imagens digitais com imagens térmicas para obter um melhor resultado) e *Picture-in-Picture* (cria uma sobreposição de infravermelhos na imagem digital). Este possibilita ainda a medição de grandes intervalos de temperatura e possui a opção de vídeo para facilitar o diagnóstico.



Figura 20 (a) Medidor de vibrações. (b) câmara termográfica

Após a determinação dos aparelhos a utilizar procede-se à criação de instruções de utilização dos aparelhos de medição, tornando mais simples o acesso e uso dos mesmos. Através de imagens simples e intuitivas, com indicação de cada passo criando um trabalho normalizado e executando da melhor maneira. No Anexo D é possível verificar as instruções com mais detalhe, como complemento é em seguida descrito, de forma sucinta, o processo de criação das instruções.

5.3.1. Instrução de funcionamento para os equipamentos de medição

É de notar que houve necessidade de criar instruções de funcionamento para a correta utilização dos aparelhos de monitorização, para uniformização do processo. É fundamental que todas as medições sejam efetuadas de modo uniforme a fim de evitar resultados incorretos e que possam encaminhar a diagnósticos errados. Para evitar estes problemas foram realizadas instruções de trabalho (ver em ANEXO E) para a normalização das medições. Nestas instruções encontram-se todos os passos necessários para o técnico poder realizar uma correta medição, indicando a título de exemplo, a necessidade e o modo de passar a informação do computador para o equipamento de medição; pontos (com fotografias) em que os medidores devem ser colocados nos equipamentos a analisar; como guardar os dados recolhidos; como interpretar os resultados em campo, entre outros.

Como as análises são de dois tipos diferentes, é necessário referir que nem todos os pontos referidos anteriormente serão aplicados de igual modo. Outro dos objetivos será a colocação destas instruções junto dos equipamentos de medição para que os técnicos possam aceder facilmente e consultá-los sempre que necessário.

5.4. Análise de dados

Neste ponto irá fazer-se a avaliação, evolução e diagnóstico dos equipamentos testados. Como foi referido anteriormente, os dados obtidos são comparados com a norma ISO 10816-3 de modo a entender o estado de vibração do equipamento. Como forma de avaliar a gravidade global de vibração do equipamento, a norma utiliza a amplitude em velocidade (RMS). As medições da amplitude são executadas na unidade mm/s e sempre que possível (o acesso à máquina nem sempre é fácil) executam-se medições nos três eixos (vertical, horizontal e axial).

Em relação aos rolamentos, a amplitude das medições respeita a aceleração (g's) e na forma de envelope (g'E's). Estes valores são comparados com a norma disponível no *software*.

5.4.1. Análise de Vibrações

É de referir inicialmente que os limites de alarme definidos (descrição em 3.3.1) para a análise de vibrações foram obtidos através de normas que foram depois inseridas como *inputs* no *software* disponível.

Note-se que após execução de todas as medições aos equipamentos e transferência de informação dos dados contidos no medidor para o computador, o *software* transforma automaticamente os dados em três tipos de gráficos de tendência: velocidade global de vibração do equipamento (medido em RMS); condição dos rolamentos (em aceleração, g's) e envelope (g'E). Com este programa também se obtêm espectros de frequência, nos quais se analisam de modo mais detalhado os tipos de problemas que o equipamento pode ter. Antes de iniciar a análise de resultados é necessário o número de medições são feitas por equipamento. Assim, por cada eixo em que a medição é feita são obtidos três gráficos (vibração global, condição dos rolamentos e envelope) e um espectro. Portanto por cada equipamento analisado são aproximadamente 30 gráficos, 10 espectros e os gráficos das temperaturas (no motor e nas chumaceiras).

Em seguida são apresentados alguns resultados obtidos (os mais críticos) através de tabelas sendo possível consultar os gráficos correspondentes no ANEXO F (devido à dimensão e quantidade não são aqui inseridos).

Devido a questões de confidencialidade, as zonas onde estão localizados os equipamentos são descritas pelas letras de A a J, não mencionando todas, uma vez que não têm equipamentos ou máquinas críticos.

Tabela 5 Análise de resultados da zona A

Zona A		
Máquinas	Tendência	Observações /diagnóstico/ações a tomar
A-M1	Em todos os eixos de medição a vibração global encontra-se a aumentar, já estando em situação de alarme. Na aceleração os valores encontram-se estabilizados. A temperatura do motor está demasiado elevada, quase 100°C). Em 5 meses a temperatura passou dos 58°C para quase 100°C.	Este motor já se encontra em alarme. Pela análise do espectro pode indicar possível desequilíbrio. Severidade: 4. É necessário planear uma intervenção o mais rápido possível. Temperatura do motor demasiado elevada, já estando em situação de alarme. Usar termografia para complementar análise. As temperaturas das chumaceiras encontram-se normais.
A-M2	Aumento de vibração relativamente a todos os eixos. Aceleração encontra-se a decrescer (não existe problemas em rolamentos). Aumento de temperatura no motor, última medição estava com 68°C, neste momento apresenta 88°C.	Equipamento encontra-se em situação de alarme. Pela análise do espectro este indica possível desequilíbrio. Severidade: 3. Acompanhar evolução e planear uma intervenção a médio prazo. Temperatura do motor demasiado elevada, usar termografia para complementar análise. As temperaturas das chumaceiras encontram-se normais.
A-M4	Aumento de vibração no eixo horizontal, $v=7,5$ mm/s. Em relação aos eixos vertical e axial, estes mantêm-se constantes. Aceleração encontra-se em valores normais. Temperatura do motor encontra-se a aumentar ao longo das medições realizadas. Neste momento está com 90°C.	Equipamento encontra-se na zona <i>warning</i> . O espectro mostra que é possível existir um desalinhamento, pois o valor da 2ª harmónica é superior à 1ª. Isto indica um possível desalinhamento das polias, ou até um problema nas correias. Severidade: 3. Acompanhar evolução e planear uma intervenção a médio prazo. Temperatura do motor demasiado elevada. Esta temperatura pode ser derivada do possível desalinhamento das polias.
A-M8	Vibração geral do equipamento decresceu mas continua elevada. Aceleração decresceu e encontra-se neste momento com valores normais. Temperatura com tendência crescente.	A vibração geral decresceu após a troca do motor, mas o equipamento continua com valores de vibração demasiado elevados. É necessário verificar o estado da turbina o mais rápido possível (severidade: 4). A temperatura do motor encontra-se nos 90°C, possivelmente devido ao problema na turbina. Temperatura das chumaceiras dentro dos limites.

Tabela 6 Análise de resultados da zona B

Zona B		
Máquinas	Tendência	Observações /diagnóstico/ações a tomar
B-M1	<p>Esta última medição mostra um aumento de vibração nos três eixos. Neste momento os rolamentos do motor não mostram qualquer tipo de problema.</p> <p>A temperatura do motor mostra um crescimento de quase 20 graus.</p> <p>A temperatura nas chumaceiras encontra-se normal.</p>	<p>Severidade 3: acompanhar a evolução e planejar uma intervenção a médio prazo.</p> <p>O espectro indica que o problema será um desequilíbrio da turbina, e caso na próxima medição estes valores continuem a crescer será necessário abrir o ventilador e verificar as suas pás.</p> <p>Temperatura do motor e chumaceiras podem estar a com temperaturas mais elevadas devido ao possível problema no ventilador.</p>
B-M7	<p>A última medição mostrou uma subida de vibração bastante acentuada (em todos os eixos). A subida mais acentuada foi no eixo horizontal na parte da frente do motor, em que aumentou de 3,5 mm/s para os 12 mm/s.</p> <p>A temperatura do motor manteve-se constante, mas encontra-se a 80°C, o que é mais 20°C do que a temperatura considerada normal.</p> <p>A temperatura nas chumaceiras encontra-se normal.</p>	<p>Severidade 4: É necessário planejar uma intervenção o mais rápido possível.</p> <p>Pela leitura do espectro, a probabilidade de haver um problema (desequilíbrio) na turbina é bastante elevada, devido à 1ª harmónica do espectro coincidir com a velocidade de rotação da turbina.</p> <p>Esse desequilíbrio pode estar a causar o aquecimento do motor. Complementar a análise com termografia.</p>

Tabela 7 Análise de resultados da zona C

Zona C		
Máquinas	Tendência	Observações /diagnóstico/ações a tomar
C-3	<p>A vibração geral de vibração encontra-se em crescimento, principalmente no eixo horizontal, $v=7\text{mm/s}$.</p> <p>Aceleração encontra-se dentro dos parâmetros normais.</p> <p>Temperaturas do motor e chumaceiras encontram-se normais.</p>	<p>Severidade 3: acompanhar a evolução e planejar uma intervenção a médio prazo. A vibração da máquina encontra-se a aumentar e é necessário averiguar situação.</p> <p>O espectro não apresenta indícios de problemas.</p>
C-7	<p>Vibração global do equipamento encontra-se dentro dos limites definidos.</p> <p>Aceleração nas chumaceiras encontra-se bastante elevada, 4,5 g.</p> <p>Temperaturas dentro do normal.</p>	<p>Severidade: 4: É necessário planejar uma intervenção o mais rápido possível. Os rolamentos das chumaceiras encontram-se com nível de vibração muito elevado, o que dá a indicação que os rolamentos podem estar danificados.</p> <p>O espectro já tem indícios de problema nos rolamentos.</p>

Tabela 8 Análise de resultados da zona D

Zona D		
Máquinas	Tendência	Observações /diagnóstico/ações a tomar
D-030	<p>Na medição do motor na parte da frente no eixo vertical verificou-se aumento de vibração global, $v=7,5$ mm/s.</p> <p>A medição na bomba indicou um aumento excessivo de vibração nos rolamentos (aceleração = $0,75$ g).</p> <p>A temperatura do motor encontra-se normal.</p> <p>Temperatura da bomba encontra-se acima dos 90°C.</p>	<p>É necessário acompanhar a situação do aumento de vibração no motor. (severidade 2)</p> <p>Em relação à bomba, é preciso ser feita uma intervenção o mais rápido possível. Os gráficos de aceleração e os espectros indicam que os rolamentos estão degradados e que podem mesmo falhar. (Severidade 4).</p> <p>Utilizar termografia na bomba para complementar o diagnóstico.</p>

Tabela 9 Análise de resultados da zona I

Zona I		
Máquinas	Tendência	Observações /diagnóstico/ações a tomar
I-10	<p>Vibração global do equipamento encontra-se estabilizada.</p> <p>O valor de com valores elevados, próximo dos $0,75$g.</p> <p>Temperaturas do motor e da bomba encontram-se normais.</p>	<p>Em relação à vibração global do motor e da bomba este valor encontra-se estabilizado.</p> <p>Na aceleração o motor não tem qualquer problema, enquanto a medição da aceleração na bomba encontra-se elevada o que leva a acreditar que os rolamentos podem estar com indícios de desgaste.</p> <p>Severidade: 3, acompanhar evolução e planejar intervenção quando possível.</p>

As Tabelas 6 à 10 mostram os equipamentos que apresentam valores de vibração mais críticos e que podem indicar possíveis problemas.

É de notar que foram feitas três medições por cada equipamento, com um intervalo de aproximadamente um mês. Mesmo num intervalo pequeno, notou-se uma grande variação nos valores de vibração entre medições. Em relação aos equipamentos A-M1, A-M8, B-M7 e I-10 foram abertas ordens de manutenção corretiva planeada (PM02) para averiguar o estado do equipamento e caso necessário a sua intervenção.

Onde se verificou maior impacto na aplicação da monitorização foi no A-M8 e B-M10. Após terem sido realizados testes, análises e feito diagnósticos destes equipamentos, verificou-se a necessidade de troca de motores (em cada um), devido ao facto de os gráficos de aceleração (permite ver a condição dos rolamentos) e os espectros, indicarem que os rolamentos estavam danificados. É de notar que caso o problema não tivesse sido detetado a tempo poderia resultar numa paragem indesejada do equipamento e trazer consequências para a produção. Refira-se que é absolutamente necessário continuar a monitorização a estes equipamentos, mesmo após a intervenção e correção do problema.

Os alarmes definidos para cada equipamento foram selecionados a partir das normas internacionais (referido anteriormente) e é necessário referir que estes valores são simplesmente teóricos. Note-se ainda que quanto maior o número de medições realizadas, melhor se conhece a condição do equipamento, e melhor se entende o valor normal de

vibração de cada um. É preciso haver uma constante melhoria, e por isso os alarmes têm que ser adaptados conforme os resultados e avaliação das análises realizadas.

5.4.2. Análise Termográfica

Na análise termográfica um dos parâmetros mais importantes é a emissividade, variando como foi referido anteriormente, consoante o material. Como esta análise foi realizada na maioria das vezes em quadros elétricos, a emissividade foi definida para 0,9, uma vez que com este valor se consegue medir praticamente todos os componentes existentes nos quadros. A própria câmara termográfica tem uma tabela de emissividade pré-definida, mas como se trata de um quadro elétrico, com diversos tipos de material, foi necessário adaptar a emissividade. As imagens obtidas da câmara termográfica são bastante precisas, sendo o aparelho de uma gama elevada e com características avançadas, a nível de focagem por exemplo, o que faz com que melhore a precisão das análises quantitativas ou a capacidade de tirar ao mesmo tempo uma imagem digital e térmica, facilitando a análise. Foi utilizada uma tabela de ações recomendadas (referida em 3.3.2) para a comparação dos resultados obtidos (diferença entre os valores quantitativos) a partir das análises termográficas com os valores fornecidos pela norma. Esta tabela também permite indicar que tipo de ação se deve executar em função das diferenças de temperaturas.

Repare-se a título de exemplo, que através desta tabela definiram-se as temperaturas máximas na análise de motores e correias. De seguida são apresentados resultados obtidos mais críticos na forma de imagens térmicas e digitais, para o conversor, um motor na zona A, integrais, correias de transmissão e motor da zona E. No ANEXO G encontram-se imagens termográficas com comportamento normal.

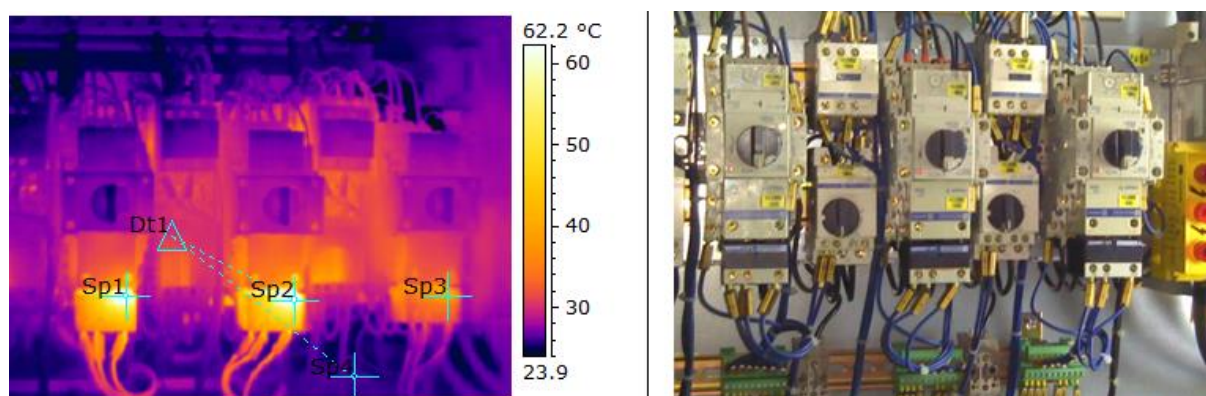


Figura 21 Conversor: imagem térmica e imagem digital

Tabela 10 Dados correspondentes à Figura 21

Data	Hora	Emissividade	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	ΔT (Sp4-Sp5)	Prioridade
30-05-2013	15:10:06	0.9	65,1 °C	68,4 °C	38,6 °C	25,9 °C	42,5 °C	4

Em relação à Figura 21 é possível verificar o estado do conversor (sobreaquecimento) do quadro elétrico. Neste caso, fazer uma comparação apenas a dois elementos semelhantes não faz sentido, uma vez que apenas estão dois a funcionar e não se encontram à mesma carga, por isso não se pode fazer essa comparação. É pois necessário ir comparar a temperatura mais fria encontrada no quadro elétrico com a temperatura mais elevada. Após esta análise, pode-se verificar a partir da Tabela 10 que o ponto mais frio é o Sp4 e o mais quente o Sp2, fazendo a diferença destes pontos dá um resultado de 42,5 °C. É sempre necessário ter como referência a Tabela 2, sendo esta que indica que tipo de ação se deve tomar. Neste caso, pode-se verificar que a prioridade é de 4, ou seja, deve ser feita uma intervenção o mais rápido possível. Não existe um limite definido para cada componente, uma vez que alguns deles funcionam quase 24 horas por dia e outros mais espaçadamente. Assim sendo, teve-se em conta a experiência dos técnicos de eletrónica e com a sua ajuda foi possível definir as temperaturas para os diferentes componentes.

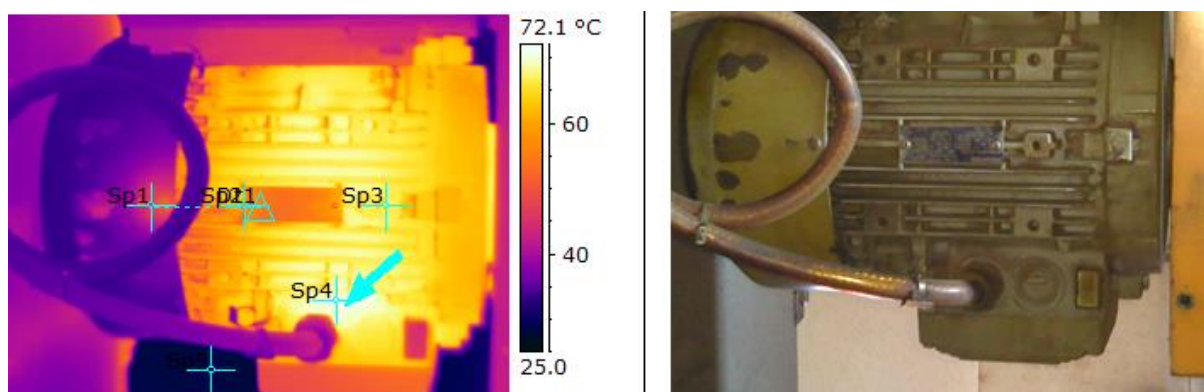


Figura 22 Motor A-M7

Tabela 11 Dados relativos à Figura 22

Data	Hora	Emissividade	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	ΔT (Sp4-Sp5)	Prioridade
29-05-2013	15:56:40	0.9	46,4 °C	55,7 °C	66,2 °C	70,3 °C	28,4 °C	41,9 °C	4

Relativamente à Figura 22 é possível verificar um problema no ponto SP4. Pela Tabela 11 é de notar que o ponto Sp4 é o que se encontra a maior temperatura relativamente aos outros pontos. Devido ao facto de apenas existir um motor não é possível fazer comparação com outro, por isso será necessário fazer a comparação em relação ao ponto mais frio indicado, Sp5. Ao fazer a diferença desses dois pontos é possível verificar que têm uma diferença de temperatura de 41,9 °C o que indica que é necessário intervir o mais rapidamente possível. O problema que pode existir neste motor é um desajuste, sendo necessário averiguar a situação o quanto antes.

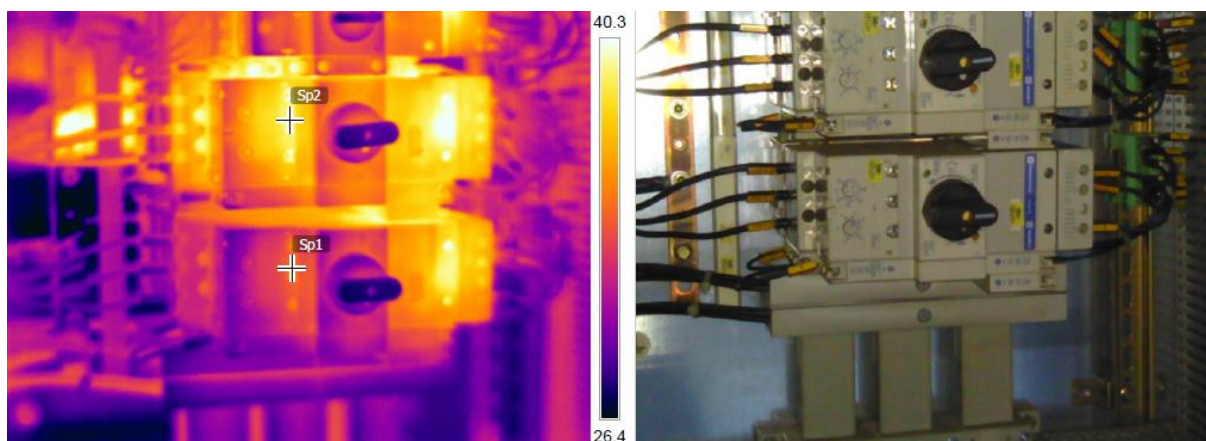


Figura 23 Integrais nos quadros elétricos

Tabela 12 Dados relativos à Figura 23

Data	Hora	Emissividade	Sp1	Sp2	$\Delta T (S2-Sp1)$	Prioridade
21-06-2013	10:19:46	0.9	33,2 °C	40,7 °C	7,5 °C	2

A análise da Figura 23 foi executada de modo diferente das restantes. Neste caso a comparação é feita relativamente aos dois integrais, uma vez que são iguais, estão à mesma carga de funcionamento e encontram-se a temperaturas diferentes. Pela Tabela 12 é possível verificar os valores de temperatura dos pontos Sp1 e Sp2, apesar de a diferença não ser elevada é necessário consultar a Tabela 2. Após consulta desta tabela verifica-se que existe uma diferença de 7,5 °C entre os dois componentes, logo, estes têm uma prioridade 2, o que indica “provável deficiência, reparar quando for possível”.

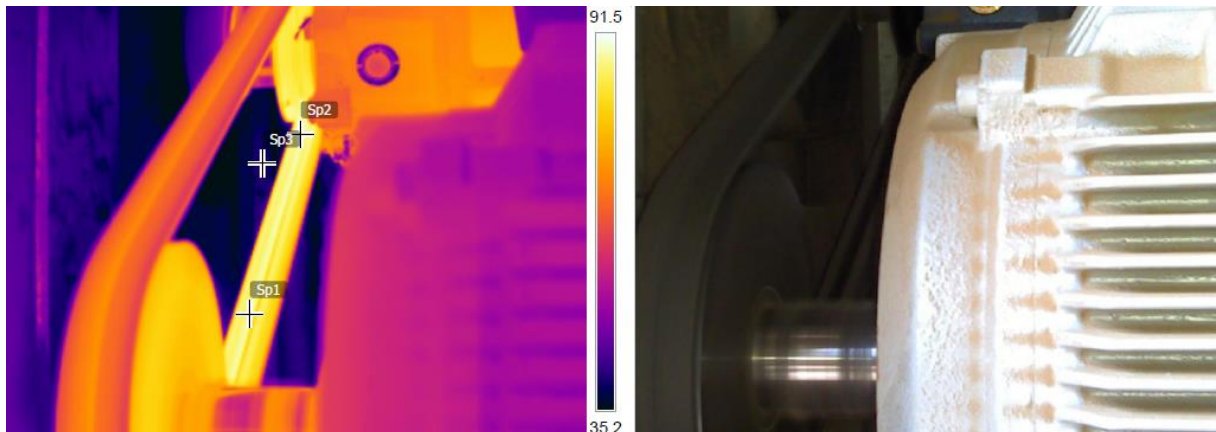


Figura 24 Correia de transmissão

Tabela 13 Dados relativos à Figura 24

Data	Hora	Emissividade	Sp1	Sp2	Sp3	ΔT (S1-Sp3)	Prioridade
21-06-2013	10:53:26	0.96	83,5 °C	83 °C	38,7 °C	44,8 °C	4

A Figura 24 refere-se à análise da correia de transmissão. A partir da leitura da Tabela 13 verifica-se uma grande diferença de temperatura quando se faz a comparação do ponto mais quente para o ponto mais frio, 44,8 °C. Pela Tabela 13 é possível verificar que a prioridade deste elemento é de 4, o que significa que é necessário intervir o mais rápido possível. É de notar que houve necessidade de trocar a emissividade, devido ao facto da correia de transmissão ser de outro tipo de material.

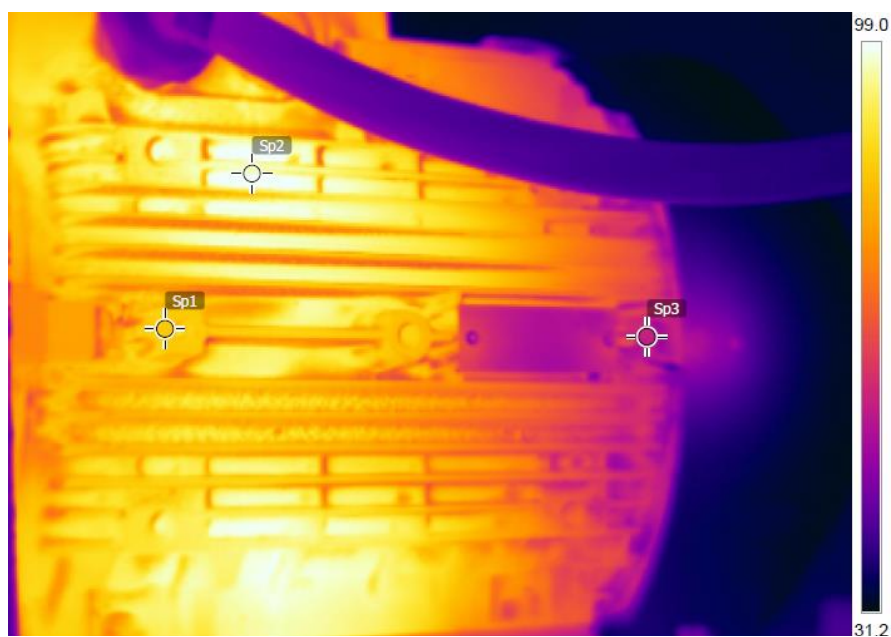


Figura 25 Motor zona E

Tabela 14 Dados relativos à Figura 25

Data	Hora	Emissividade	Sp1	Sp2	Sp3	ΔT (S1-Sp3)	Prioridade
21-06-2013	10:59:00	0,83	88,4 °C	97,9 °C	61,8 °C	26,6 °C	4

É possível verificar a partir da imagem térmica (Figura 25) e da análise da Tabela 14 que a temperatura do motor encontra-se num valor exageradamente elevado, quase nos 100 °C. Apesar da diferença dos pontos (o ponto Sp3 não é o mais frio) não ser muito grande, é necessário dar prioridade 4 a este motor, devido ao facto de se encontrar a 40 °C acima das temperaturas normais dos motores. É necessário intervir o mais rápido possível com a possibilidade de ter que haver uma troca de motor. É de referir ainda que este motor nunca sofreu alterações ao longo da sua vida útil.

Após a análise dos resultados obtidos foi possível verificar que em relação aos quadros elétricos, estes em geral encontram-se a funcionar corretamente, os únicos problemas são os conversores em que 60 % (aproximadamente) destes encontram-se com temperaturas demasiado elevadas, sendo necessário fazer uma intervenção quanto antes.

Relativamente o sistema mecânico, a maioria dos motores analisados encontram-se dentro das temperaturas normais, 55 °C e 65 °C. Foi necessário abrir algumas ordens de manutenção para inspeção e caso necessário intervenção nos elementos necessários.

5.5. Base de Dados

Foi criada uma base de dados em *Excel* presente em ANEXO I (ampliada para melhor perceção), para simplificar a consulta de equipamentos existentes na secção do Primário, equipamentos onde cada tipo de análise foi realizada e os respetivos relatórios. Na base de dados existe três *check lists*, uma para análise de vibrações, outra para termografia e uma para equipamentos críticos em relação ao processo. Ao selecionar, a título de exemplo, a análise de vibrações, esta vai mostrar em que equipamentos a análise é feita (YES indica que é feita a análise, NO o contrário). É de referir que esta base de dados é apenas de consulta.

É de notar que os relatórios existentes na base de dados estão interligados a partir de hiperligações a pastas onde esses relatórios se encontram. Deste modo, a consulta dos relatórios fica mais simples e qualquer colaborador consegue realizar essa consulta.

Repare-se que os relatórios de cada equipamento estão a cores diferentes: vermelho indica intervir quando possível; amarelo, acompanhar situação e verde, a funcionar normalmente.

Também foi realizada uma folha de inspeções urgentes de análise de vibrações em *Excel* com todos os equipamentos, onde se colocam as observações de cada análise dos resultados obtidos (também através de uma hiperligação). Assim, o técnico que for fazer uma medição a um equipamento, apenas terá que fazer a análise dos dados e na folha de inspeção descrever o estado de funcionamento do equipamento (ANEXO H).

Em relação à termografia, o processo de inserção dos relatórios é o mesmo como se pode verificar em ANEXO I

5.6. Planeamento da manutenção condicionada

Após todas as análises foi necessário proceder ao planeamento da manutenção baseada na condição. É de referir que na maioria dos equipamentos a preventiva é feita trimestralmente.

Para isso, com o auxílio do *Asset Engineer* (responsável pelo planeamento de manutenções) foi essencial verificar quando as manutenções preventivas eram efetuadas para poder conciliar com a condicionada. Como foi referido em 4.2.1, esta manutenção irá ser realizada três semanas a um mês antes da preventiva. Após essa análise houve necessidade de reajustar algumas datas de preventiva para poder compatibilizar a condicionada. Por fim, foram definidas datas de monitorização de todos os equipamentos analisados. Essas datas irão mais tarde ser inseridas no sistema gestão SAP pelo *Asset Engineer*. Na Tabela 15 é possível verificar o planeamento que se encontra definido. É de notar que este planeamento é para análise de vibrações.

Tabela 15 Planeamento da condicionada

Ventiladores	Código	Manutenção Baseada na Conceição (semanas)	Periodicidade
A	Secagem Arrefecimento Humidificação		Mensal
B	Secagem Arrefecimento Humidificação		Mensal
C	DF1 DF2 DF3 DF4 DF7 DF51 DF53 DF700		Trimestral
D	Infeed 27010 Infeed 27020 Infeed 27030 ETD DF01 ETD DF13		Trimestral
E	Bright 20030 Burley 20030 Recon 20120		Trimestral
F	DDCK 80010 DDCK 80020 Burley TOP/Dryer 20030 SDS 20670 SDS 400350 MT Nervura 23740 Secador Nervura 23730 CTD 6262/VS1		Trimestral
G	Indo Processo HMY-M3		Trimestral
H	Indo Processo Nervura 23620-M2 Booster Nervura 23620-M3		Trimestral
I	F8 DF9 DF10 DF11 DF12 Aspiração central	RESERVA	Trimestral
J	Burley 15000-M3 Bright 20000-M3 Nervura 23014-M3		Trimestral

	2ª/3ª semana Dezembro
	1ª/2ª Semana Janeiro
	1ª/2ª Semana Fevereiro

Em relação à termografia, esta será realizada quando houver inspeções aos quadros elétricos, ou seja, sempre que um técnico for realizar uma inspeção terá que levar a câmara termográfica, o que antes não acontecia. Ao fazer a inspeção aos quadros com este aparelho fará com que melhore não só a segurança dos técnicos, mas estes irão apenas intervir caso que seja realmente necessário.

É de referir que a inspeção aos quadros elétricos é feita trimestralmente, mas com a realização de uma pesquisa detalhada está em estudo a possibilidade de as inspeções passarem a ser semestrais, uma vez que é o mais aconselhável por empresas especializadas nesta área.

5.7. Melhoria dos tempos de preventiva

Refira-se que com a implementação da manutenção baseada na condição poderão reduzir-se os tempos de manutenção preventiva. Deste modo, com a realização da monitorização dos equipamentos já não surge a necessidade de realizar inspeção nas máquinas em estudo, sendo apenas necessário proceder à intervenção (caso se verifique algum problema). Esta pesquisa foi baseada apenas na análise de vibração uma vez que é a análise que mais interfere nos tempos de preventiva. Com isto, foi realizado um estudo do tempo de redução da preventiva com a implementação da condicionada tendo como objetivo compreender o tempo que os técnicos iriam poupar com a implementação desta manutenção.

Inicialmente foi recolhida informação junto dos técnicos para estimar o tempo que estes demoram a realizar inspeção aos equipamentos e com essa informação fez-se uma comparação com o tempo em que a análise de vibração demora a ser realizada (testes em campo e análise no computador). Estes dados foram manipulados em *Excel* e resultaram diferentes gráficos para cada equipamento. Por fim fez-se uma média dos tempos de redução de preventiva de todos os gráficos estudados (Gráfico 12).

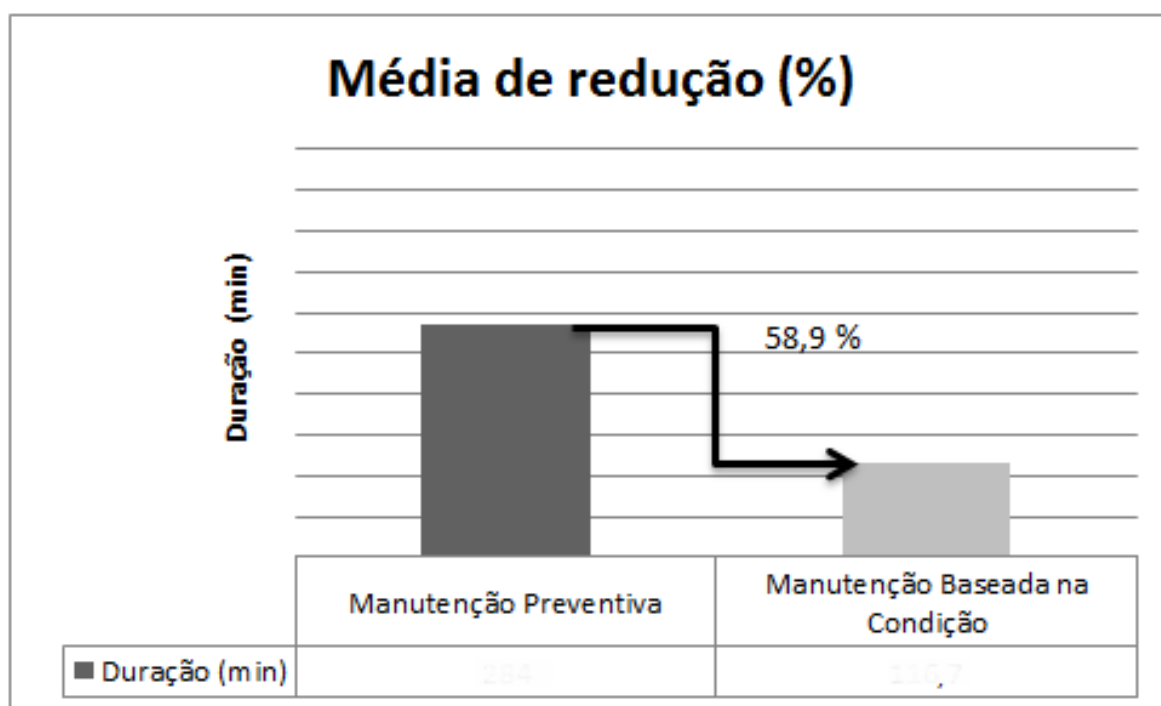


Gráfico 12 Comparação manutenção preventiva com condicionada

É de referir que estes tempos de preventiva são estimados, sendo referentes aos tempos que os técnicos demoram a fazer as inspeções a cada equipamento. Os tempos de condicionada por outro lado, não são estimados, porque com a introdução deste projeto foi necessário a realização de testes e consequente análise dos dados.

Nos equipamentos em estudo, fazendo a condicionada em vez de preventiva tem-se um ganho de quase 60 % de tempo, sendo que esse tempo pode ser utilizado para melhorar e reforçar as inspeções, tendo mais tempo para outros trabalhos de manutenção que tenham uma prioridade mais elevada.

Para concluir, o Gráfico 13 mostra o tempo de redução total de manutenção preventiva dos equipamentos existentes no Primário com a implementação da manutenção condicionada. Esta redução (perto dos 18%) faz com que diminua a taxa de ocupação dos técnicos, fazendo com que estes tenham mais tempo para ocupar com outras manutenções, formações e outros trabalhos mais importantes.

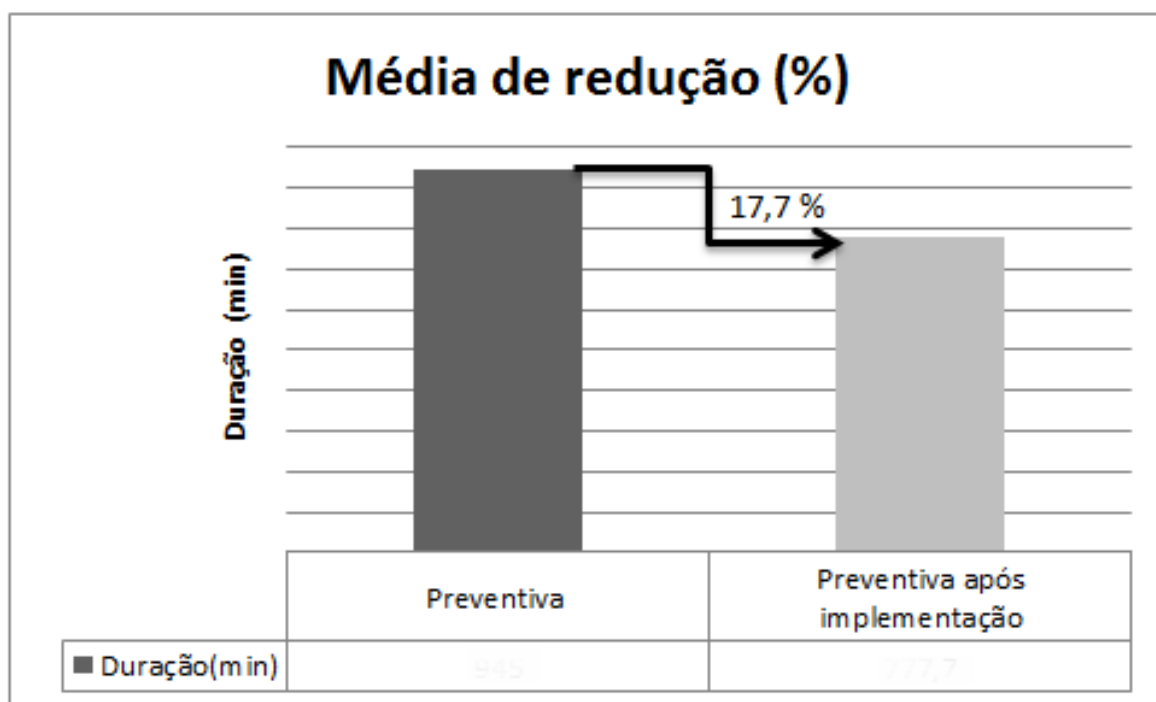


Gráfico 13 Redução de preventiva com implementação da condicionada

6 Conclusões

As filosofias de manutenção têm evoluído ao longo do tempo, tendo progredido de um sistema inicial de corretiva para uma abordagem mais ao nível de preparação e da previsão do comportamento dos equipamentos. Refira-se ainda que a manutenção baseada na condição assenta na avaliação do estado dos equipamentos, avaliação essa que pode ser feita de diversas formas, sendo as duas mais importantes a análise de vibrações e a termografia.

6.1. Considerações finais

É necessário efetuar uma análise crítica aos resultados das medições das duas análises, uma vez que estas podem ser afetadas por vários fatores externos. Em relação à análise de vibrações, os principais fatores de influência externos são os apoios dos equipamentos e as vibrações de outras máquinas, enquanto que na termografia esses fatores estão diretamente relacionados com a variação da temperatura ambiente (temperatura envolvente dos elementos).

É de referir que foram realizados procedimentos, instruções de trabalho para cada tipo de análise e ainda instruções de funcionamento para cada aparelho de medição. Os procedimentos foram realizados para a standardização do trabalho a ser realizado, facilitando o trabalho dos técnicos. De igual modo procedeu-se à criação de instruções de trabalho para normalização das medições, sendo que nessas instruções se encontram todos os passos necessários para que o técnico possa realizar uma correta mensuração, partindo apenas da consulta das instruções. Para a melhor compreensão e correta utilização dos equipamentos de medição foram criadas instruções de funcionamento, para que as medições sejam efetuadas de modo uniforme e a fim de evitar resultados incorretos que possam conduzir a diagnósticos errados.

Deste modo surgiu a necessidade de definir limites de alarmes para a avaliação dos equipamentos (ISO 10816) permitindo uma correta avaliação dos equipamentos, sendo contudo necessário referir que estes valores poderão ser modificados consoante as medições que forem realizadas. Em relação à termografia não foram definidos alarmes específicos, mas a partir da tabela das diferenças de temperaturas e das ações recomendadas é possível fazer um bom diagnóstico aos equipamentos.

Relativamente à análise de vibrações estas foram realizadas a 50 equipamentos em que se obteve aproximadamente 1500 gráficos para uma análise mais detalhada. No projeto realizado apenas foram incluídos os equipamentos mais críticos e os respetivos gráficos e espetros. Na termografia realizaram-se medições a todos os quadros elétricos existentes e em alguns casos análises a sistemas mecânicos para complementar a análise de vibrações.

Concluindo, após a avaliação dos equipamentos com recursos a estas técnicas foram detetados quatro equipamentos com necessidade máxima de urgência, em que estes são: A-M1; A-M8; B-M7 e C-7. Nos quadros elétricos os problemas encontrados foram os conversores, como foi referido anteriormente. Estes conversores necessitam de ser trocados o quanto antes, uma vez que a maioria destes se encontram com temperaturas demasiado elevadas. Relativamente aos restantes equipamentos analisados é necessário haver uma monitorização mais regular para acompanhar de perto a sua evolução.

É de referir que com a análise de vibrações já foi possível obter resultados práticos, uma vez que após a análise detalhada e diagnóstico de dois equipamentos, A-M8 e B-M10, houve

necessidade de uma intervenção rápida para a troca dos dois motores por falha nos rolamentos. Os restantes equipamentos analisados encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos.

Com o desenvolvimento do projeto foi possível mostrar que a monitorização dos equipamentos traz vantagens ao departamento de manutenção da empresa. Com a implementação deste novo tipo de manutenção surgem vantagens quer a nível de ocupação dos técnicos e na vida útil dos equipamentos. Uma das grandes vantagens foi o tempo estimado de redução de preventiva em 18%. Esta redução faz com que os técnicos se possam ocupar com manutenções com prioridade mais elevada e fazer inspeções com maior rigor e mais detalhe. As *task lists* das ordens de manutenção irão também reduzir, uma vez que ao fazer a monitorização dos equipamentos, os técnicos já não terão que fazer respetiva a inspeção.

Por fim, foram efetuadas induções sobre como realizar as análises e como fazer o seu diagnóstico. Estas induções foram dadas aos técnicos de mecânica e de eletrónica para estes poderem realizar as análises autonomamente.

6.2. Trabalhos futuros

Após a avaliação do estado dos equipamentos é necessário verificar se de facto os equipamentos identificados como sendo críticos se realmente têm algum problema. Este passo é fundamental para perceber se o processo de manutenção condicionada desenvolvido é fiável. Caso não se verifiquem os problemas encontrados será necessário reajustar o processo, principalmente em relação aos limites de alarmes e critérios de avaliação definidos. Contudo, já foram abertas ordens de manutenção para a maioria dos equipamentos críticos detetados, mas até este momento ainda não foram executadas.

Relativamente ao agendamento do plano de medições este já se encontra definido, mas ainda necessita de ser colocado no sistema de gestão *SAP* pelo *Asset Engineer* para as ordens começarem a ser efetuadas.

É de referir que foi realizada uma estimativa de compra de um equipamento de análise de vibrações, uma vez que o medidor existente é antigo e não pertence ao departamento da manutenção do Primário.

Por fim, as induções que foram dadas aos técnicos pela autora do projeto devem continuar. Este tipo de manutenção necessita de elevados conhecimentos teóricos para conseguir realizar uma análise mais correta, por isso ter formação nesta área é fundamental.

7 Referências

- 10816, I. (1998). *Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. International Organization for Standardization.
- Miit. (1989). Obtido em Março de 2013, de www.miit.pt
- Cabral, J. P. (2004). *Organização e Gestão da Manutenção - Dos conceitos à prática*. Lisboa: Edições técnicas, Lda.
- Coimbra, E. (2009). *Total Flow Management: Achievement Excellence with Kaizen and Lean Supply*. Switzerland: GembaKaizen.
- EPRI, E. P. (2002). *Infrared Thermography Guide*. Obtido em Maio de 2013, de <http://pt.scribd.com/doc/38179874/Infrared-Thermography-Guide-Revision-3>
- Ferreira, L. A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Edições Técnicas.
- FLIR. (2009). *FLIR Reporter Professional - Manual do utilizador*. Professional Edition.
- Hitchcock, L. (2003). *SKF*. Obtido em Março de 2013, de Using Thermal Imaging To Help Solve Lubrication Problems: <http://www.skf.com/portal/skf/home/aptitudexchange?contentId=0.237932.237937.237980.23>
- Leitão, A. (2012). *Acetatos de apoio à cadeira de Gestão da Manutenção*.
- Lima, W. d., Lima, C. R., & Salles, A. A. (2008). *Manutenção Preditiva, o caminho para a Excelência - Uma vantagem competitiva*.
- Lobo, B. A. (2012). *Acetatos de apoio à cadeira de Gestão da Manutenção*.
- Marques, C. F. (2009). *Estratégia de Gestão da Produção e Operações*. IESDE Brasil, S.A.
- Martins, M. P., & Leitão, A. L. (s.d.). *Predição de Falhas no Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Mirshawaka, V. (1991). *Manutenção Preditiva: caminho para zero defeitos*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill.
- Mobley, R. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier Science (USA).
- Mobley, R. K., & Higgins, L. R. (2002). *Maintenance Engineering Handbook, 6ª edição*. New York: McGraw-Hill.
- Möllmann, M., & Vollmer, K. P. (2010). *Infrared thermal images: fundamentals, research and applications*. Wiley-VCH.
- NETA, I. E. (1999). Obtido em Março de 2013, de Acceptance Testing Specifications: <http://www.codecheck.com/cc/pdf/electrical/Testing/NETA..pdf>
- Pinto, V. M. (2004). *Gestão da Manutenção*. IAPMEI - Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento.
- Pruftechnik. (2002). *An Engineering's Guide: Making Maintenance Matter*. PRUFTECHNICK LTD.
- Rodrigues, J. D. (2013). *Apontamento de vibrações de sistemas Mecânicos*. Porto: FEUP .

- Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Newnes.
- Spamer, F. R. (2009). *Técnicas Preditivas de Manutenção de Máquinas Rotativas*. Rio de Janeiro.
- Specman. (2010). *Medição e Análise Termográfica Capítulo I, Conceitos Básicos de Termografia*. Portugal.
- Telang, A. D., & Telang, A. (2010). *Comprehensive Maintenance Management: Politics, Strategies and Options*. PHI Learning Private Limited.

ANEXO A: Procedimentos

Análise de Vibrações

1. Aferir as características mecânicas e nominais do equipamento a analisar para introduzir como ‘Input’ no *software*;

Nomeadamente:

- Potência do Motor (Kw);
- Velocidade de rotação (rpm);
- Frequência do motor (Hz);
- Rolamentos dos motores (ver referências);
- Verificar se a transmissão é direta ou por correia;
- Se for por correia:
 - Comprimento da correia;
 - Diâmetro das polias (do veio do motor e do ventilador).
- Rolamentos das chumaceiras (ver referências).

2. Saber quais os tipos de avarias que podem ocorrer em cada equipamento (principalmente em motores e ventiladores)

A partir da análise de vibrações pode-se verificar as seguintes avarias:

- Rolamentos danificados;
- Engrenagens defeituosas;
- Acoplamentos desalinhados;
- Rotores não balanceados;
- Eixos deformados;
- Lubrificação deficiente;
- Folgas excessivas em buchas;
- Falta de rigidez;
- Desequilíbrio de rotores de motores elétricos.

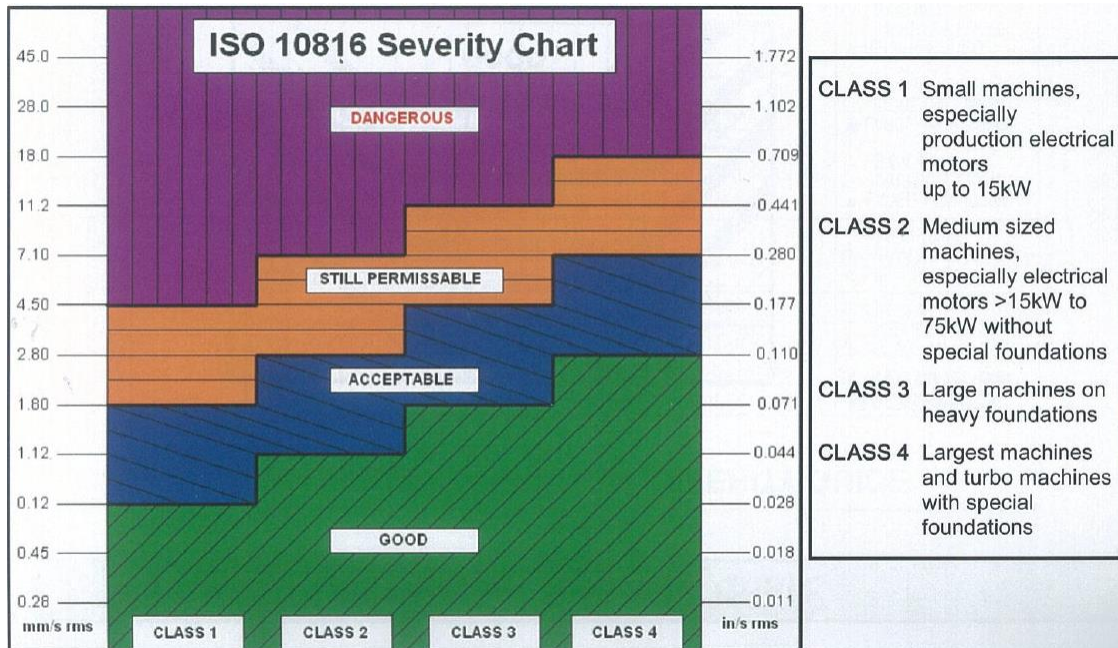
Ventiladores:

Causas de avarias em ventiladores:

- Fixação deficiente
- Eixo torcido
- Pás dos ventiladores desgastados/posicionamento
- Acoplamentos desalinhados
- Defeitos nos mancais
- Problema de rigidez pelo mau contato da superfície de apoio
- Estrutura do conjunto
- Desalinhamento/desgaste de correias

3. Verificar quais as normas aplicáveis ao tipo de equipamento em análise;

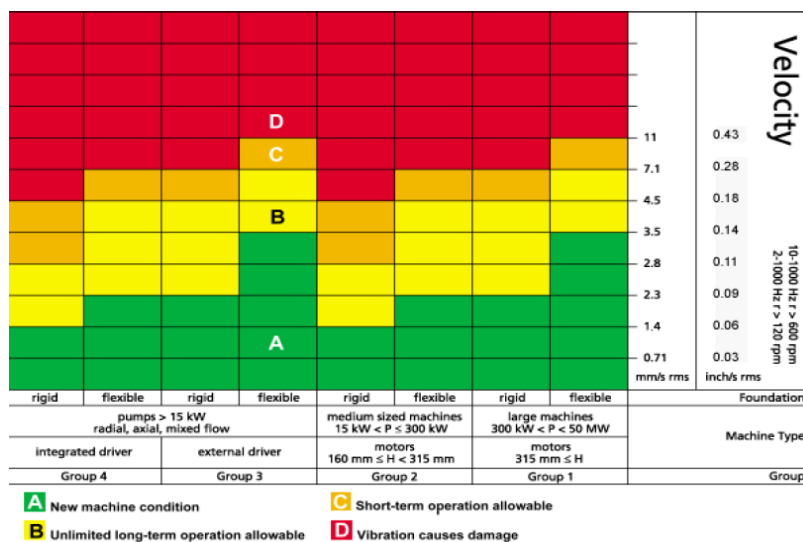
Deve ser estabelecido quais os níveis vibratórios aceitáveis para o tipo de equipamento e para a situação de funcionamento.



ISO 10816 Small Machines

A norma apresentada é indicada para equipamentos com **potência inferior a 15Kw**, em que estes são chamados ‘Small Machines’.

Ao fazer a análise aos equipamentos, esta norma irá indicar se os valores recolhidos se encontram dentro do intervalo aceitável.



ISO 10816-3 Medium and Large Machines

Zona A: Quando a máquina é nova, as vibrações caem geralmente nesta zona.

Zona B: Quando as vibrações estão nesta zona significa que as máquinas estão aptas a serem operadas por períodos prolongados sem restrições.

Zona C: Nesta zona de vibrações as máquinas não estão normalmente aptas a serem operadas por períodos longos sem restrições. Normalmente a máquina pode ser operada por um certo período até houver oportunidade de se tomarem ações corretivas.

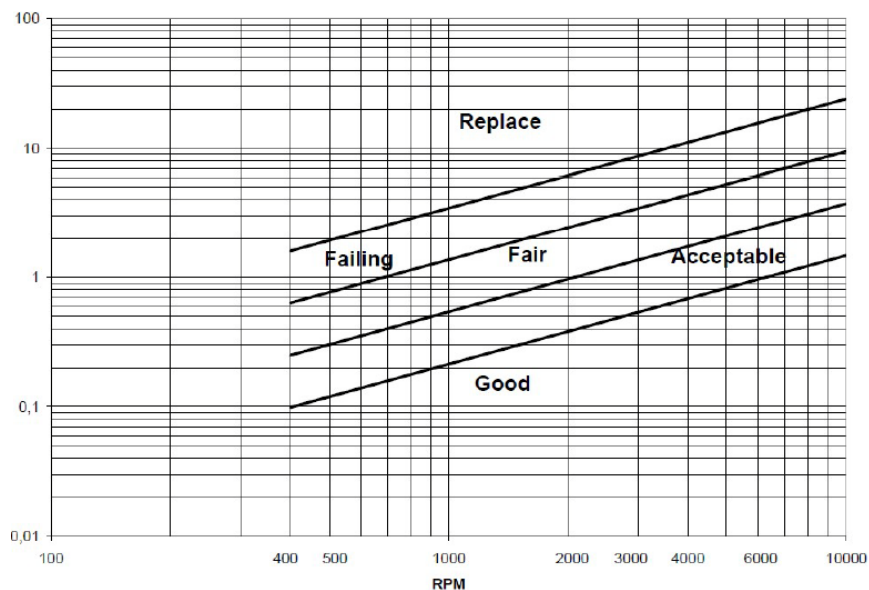
Zona D: Níveis de vibrações desta magnitude podem causar danos à máquina, tem que se tomar uma ação corretiva urgente.

A Norma ISO 10816-3 (figura 2) deve ser utilizada para equipamentos com uma **potência superior a 15 Kw**.

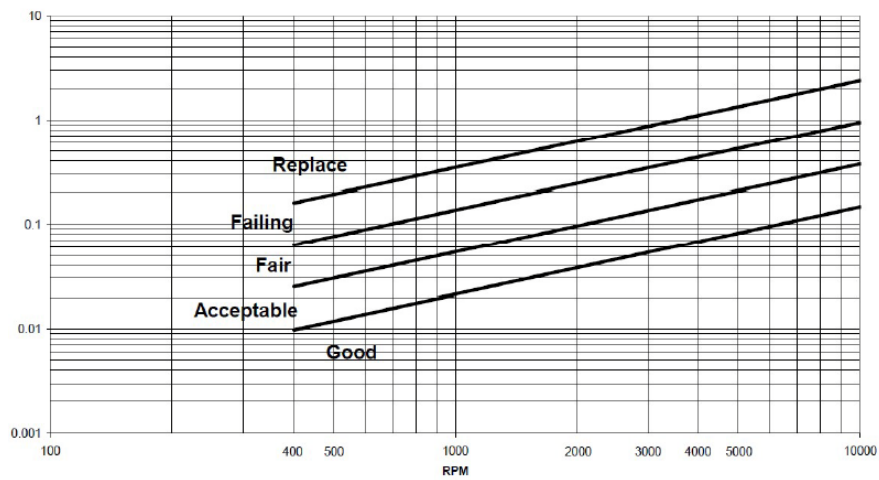
Aferir o nível global de vibração do equipamento e se for possível cruzar o valor medido com informações obtidas ao longo do tempo para aquele equipamento.

Neste ponto devem-se respeitar os pontos e as direções de medição estabelecidos pelas normas.

Estes níveis vibratórios devem ser '*Inputs*' no *Software SpectraPro*.



Condição dos rolamentos, na unidade 'g' RMS

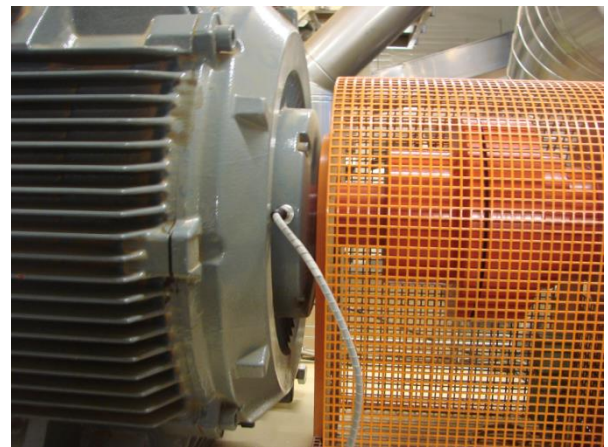


Condição dos rolamentos, Envelope, unidade 'gE RMS'

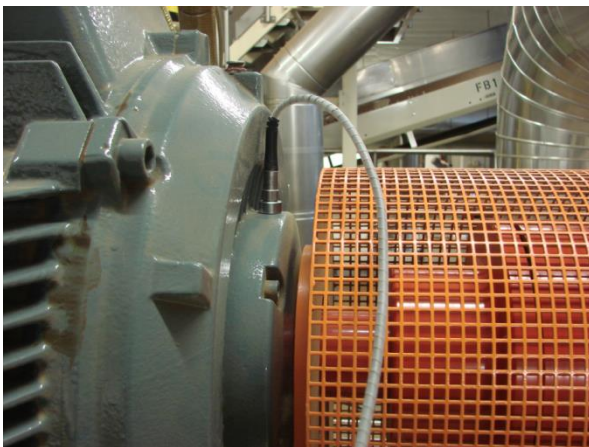
Exemplo de uma medição a um motor:



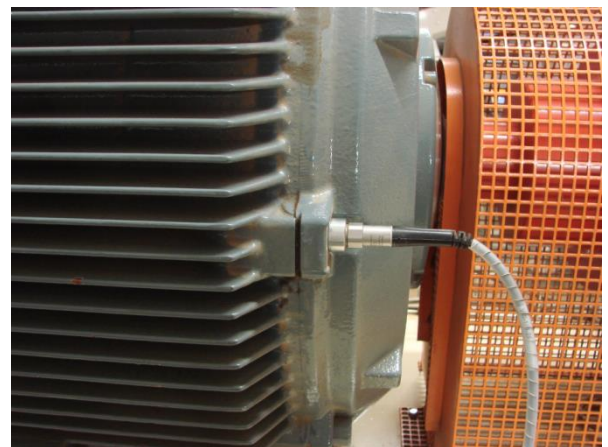
Motor em análise



Medição horizontal

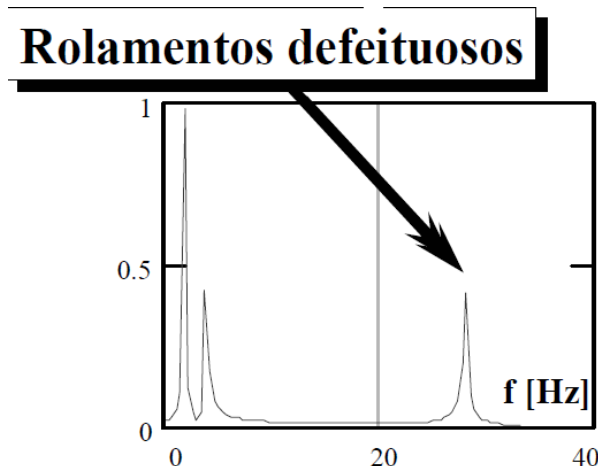


Medição Vertical



Medição Axial

4. Acompanhar a evolução do nível vibratório do equipamento com a velocidade de rotação.
5. Verificar a existência de frequências críticas para o domínio de funcionamento do equipamento.
6. Análise de frequências. Reconhecer a banda de frequências onde se encontram os picos mais relevantes.



Exemplo de um espectro típico de um rolamento com defeitos

7. Recolher dados em diferentes pontos de medição e direções
8. Cruzamento de dados recolhidos com as informações disponíveis sobre diagnóstico de avarias com análise de vibrações.
9. Avaliar se deve ser efetuada uma manutenção corretiva (a) ou preventiva (b).
 - a. Caso exista uma alteração de valores muito acentuada desde a última medição, fazer uma Manutenção Corretiva;
 - b. Se os valores se forem aproximando de uma zona de risco, será necessário programar intervenção. Estudar o histórico do equipamento e estabelecer uma inspeção periódica adequada.

Análise Termográfica

1. Identificar áreas e equipamentos onde vai ser realizada a análise.

PT00-PP-01	ÁREA INFEED						
PT00-PP-01-10	LINHA INFEED ORIENTAL						
PT00-PP-01-11	LINHA INFEED FOLHA						
			40050825	QUADRO ELÉCTRICO 01MCC01			
			40050826	QUADRO ELÉCTRICO 01MCC02			
PT00-PP-02	ÁREA CONDICIONAMENTO						
PT00-PP-02-12	LINHA CONDICIONAMENTO BRIGHT						
			40050830	CILINDRO COND. DIRECTO DCC BRIGHT 12020			
			40050840	QUADRO ELÉCTRICO 02MCC01			
PT00-PP-02-15	LINHA CONDICIONAMENTO BURLEY/RECON						
			40050878	CILINDRO COND.DIR.DCC BURLEY/RECON 15020			
			40050855	QUADRO ELÉCTRICO 02MCC02			
PT00-PP-02-17	LINHA RECON						
			40050910	QUADRO ELÉCTRICO 02MCC05			

Exemplo de folha de Excel onde estão definidas as áreas e equipamentos

2. Diferenciar os tipos de equipamentos onde se irá fazer a Termografia, neste caso existe sistemas elétricos (ponto 7) e sistemas mecânicos (ponto 8).
3. O equipamento a ser inspecionado deve estar sobre a carga adequada, idealmente a carga de funcionamento. No entanto pode ser aplicada uma carga superior como teste;
4. Sempre que possível, os componentes similares com carga semelhante devem ser comparados. Esta é a melhor forma de termografia, a comparação de componentes similares.
5. Por cada ponto deve-se registar a imagem térmica obtida, em que esta será armazenada no aparelho de medição. Com este método é possível analisar a imagem em campo, podendo já determinar o nível de severidade. Além da imagem térmica, é tirada uma foto digital do componente para melhor visualização e localização do equipamento.
6. A análise termográfica deve ser feita em modo automático para ser mais fácil fazer a sua medição.
7. Sempre que se faz uma medição a um componente / equipamento tem que se ter em atenção qual a emissividade a usar. O aparelho de medição já tem emissividades pré-definidas que se podem usar. **NOTA:** Ao usar uma emissividade errada faz com que a medição também esteja errada e pode levar a um falso diagnóstico.
 - a. A emissividade que deve ser usada nos motores deve ser entre 0,8-0,9. Com a emissividade a 0,8 é possível medir grande parte dos equipamentos. Mas quando está

presente um tipo específico de superfície (ex: crómio polido, metal polido) adaptar com a tabela de emissividades existente no aparelho.

- b. A emissividade que deve ser usada nos quadros elétricos é de 0,9; mas quando está presente um tipo específico de superfície adaptar com a tabela de emissividades existente no aparelho.

8. Após a análise estar completa será necessário passar as imagens para o PC e a partir dessas imagens fazer relatórios técnicos que já se encontram definidos.

9. Sistemas elétricos:

- a. Problemas que podem ser identificados a partir deste tipo de análise:
 - i. Conexões elétricas soltas, oxidadas ou corroídas;
 - ii. Componente defeituoso;
 - iii. Erro de montagem;
 - iv. Equipamento mal dimensionado;

10. Sistemas mecânicos:

- a. Tipos de equipamentos onde a análise pode ser feita:
 - i. Motores;
 - ii. Redutores;
 - iii. Ventiladores;
 - iv. Correias;
 - v. Polies.

A termografia em sistemas mecânicos utiliza o calor gerado pela fricção e desgaste para verificar o estado dos equipamentos.

- b. Problemas que podem ser identificados a partir deste tipo de análise:
 - i. Aumento da carga sobre o rolamento, levando a um desgaste prematuro;
 - ii. Aumento das tensões do equipamento;
 - iii. Aumento das forças que são aplicadas ao equipamento, tais como componentes soltos;

Algumas das formas mais comuns de deterioração mecânica de um sistema são:

- Desequilíbrio;
- Desalinhamento;
- Folgas;
- Componentes danificados, como por exemplo, rolamentos, engrenagens, etc.

11. Relatórios Técnicos:

- a. O relatório deve conter:
 - i. Imagens térmicas;
 - ii. Fotografias digitais;
 - iii. Condições ambientais;
 - iv. Condições operacionais.
- b. Os problemas encontrados são registados individualmente em folhas de inspeção pré-definidas, que devem conter as seguintes informações:
 - i. Identificação da empresa;
 - ii. Data;
 - iii. Descrição e localização do equipamento;
 - iv. Informações de temperaturas;
 - v. Critérios de classificação;
 - vi. Conclusões e recomendações.

ANEXO B: Relatório Análise de Vibrações

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Philip Morris													
2	Date: 30/4/2013													
3	Time: 11:54													
4														
5														
6	MAINTENANCE REPORT													
7	for Ventiladores Primário													
8														
9														
10														
11														
12														
13	Departament: A													
14	Machine: A-M2 - Ventilador com correias													
15														
16														
17	Meas_date: terça-feira, 30 de Abril de 2013													
18	Notes:													
19														
20	<p>Esta última medição motra um aumento de vibração no gráfico da tendência. Apesar de já se encontrar em valores alarmantes, ainda não é muito grave. Deve-se acompanhar esta tendência. Caso este aumento persista será necessário fazer um diagnóstico. Neste momento os rolamentos do motor não mostram qualquer tipo de problema.</p> <p>O espectro indica que o problema será um desequilíbrio da turbina, e caso na próxima medição estes valores continuem a crescer será necessário abrir o ventilador e verificar as suas pás.</p> <p>A temperatura do motor mostra um crescimento de quase 20 graus, o que pode ser preocupante, e se na próxima medição este problema se mantiver, fazer diagnóstico e procurar solução.</p> <p>A temperatura nas chumaceiras encontra-se normal.</p>													
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														
60														

Tendência

Espectro

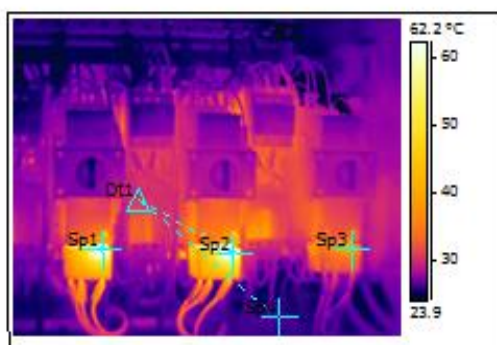
↓

↓

NOTAS Trend 1528 Spectrum #955 Trend 1529 Spectrum #956 Trend 1530 Spectrum #957 Trend 1531 Spectrum #958 Trend 1532 Spectrum #959 Tril

O relatório de análise de vibrações é realizado em *Excel*, sendo que para cada ponto de medição se obtêm três gráficos de tendência e um espectro. A figura anterior mostra a primeira página do relatório, no qual se indica a data da realização da medição, o equipamento e as observações que foram realizadas através das análises de todos os gráficos obtidos.

ANEXO C: Relatório de Termografia



Date	30-05-2013	Location:	01MCC01 - Conversores
Image Time	15:10:06		
Image Camera Type	FLIR T440bx (incl W)		
Emissivity	0.90		
Object Distance	1.0 m		
Reflected Apparent Temperature	20.0 °C		
Atmospheric Temperature	20.0 °C		
Sp1 Temperature	65.1 °C		
Sp2 Temperature	68.4 °C		
Sp3 Temperature	39.6 °C		
Sp4 Temperature	25.9 °C		

Prioridade	ΔT entre componentes similares sobre a mesma carga	ΔT sobre a temperatura de ar ambiente	Ação Recomendada
1	1 a 3 °C	1 a 10 °C	Posível deficiência, garantir investigação
2	4 a 15 °C	11 a 20 °C	Indica possível deficiência, reparar quando for possível
3	---	21 a 40 °C	Monitorizar as medidas corretivas serem implementadas
4	> 15 °C	> 40 °C	Maior discrepância, reparar de imediato

Prioridade: 4

Comment:

Recommendation: Trocar

Inspected by:




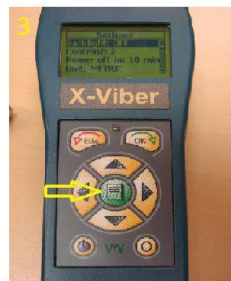
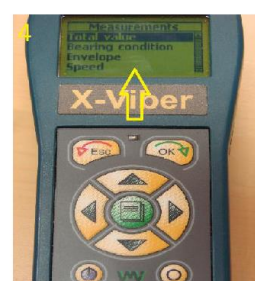
Signature:.....

date:.....





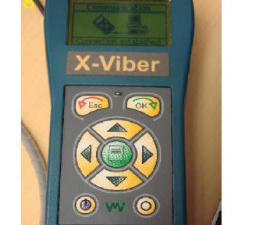
FLIR Systems AB, FLIR Reporter 9.1
 Rinkabyvägen 19, SE-182 11 Danderyd, Sweden
 Phone: +46 8 7532500, e-mail: ITC@flir.se www.flirthermography.com

ANEXO D: Instrução de funcionamento dos equipamentos de medição



Medidor de vibrações, X-Viber

	Instrução de Funcionamento X-Viber	Data : 25-06-2013
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	1	O equipamento liga-se após carregar no botão assinalado na figura 1.
	2	A figura 2 apresenta o 'Main Menu' do X-Viber.
	3	Carregar no botão apresentado na figura 3 para aceder aos 'Settings' (modo de configuração). Estes valores indicam a unidade no sistema SI, Métrico, o contraste, entre outros valores. Não é necessário modificá-los. Carregar ESC para voltar ao 'Main Menu'.
	4	No 'Measurements' (medições), ao carregar no botão OK, aparece as diferentes medições possíveis a serem feitas MANUALMENTE. Carregar em ESC para sair dessa opção.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção


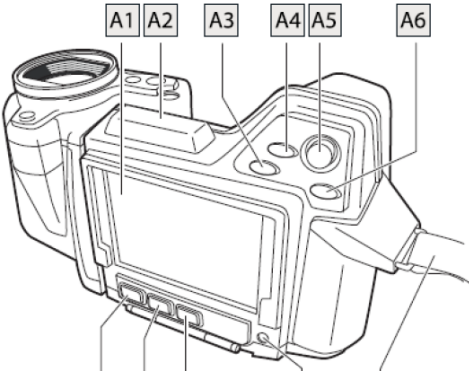
1

	Instrução de Funcionamento X-Viber	Data : 25-06-2013
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	5	Ao pôr o cursor em 'Route' e clicar OK, aparece o menu com os pontos de medição, que foram definidos no programa SpectraPro (a partir do computador). A partir daí é apenas necessário colocar o íman nos pontos corretos no equipamento e seguir os passos da máquina. Para sair carregar em ESC.
	6	No 'Main Menu' como mostra a figura 6, pôr o cursor em 'Communication' e carregar em OK.
	7	A função 'Communication' serve para fazer a ligação entre o aparelho e o computador, como mostra a figura 7. Esta ligação serve para transferir a 'Route' definida pelo SpectraPro para o X-Viber.
	8	A figura 8 mostra que a ligação já foi estabelecida e assim já se pode transferir a 'Route' estabelecida no 'SpectraPro' para o aparelho X-Viber.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção


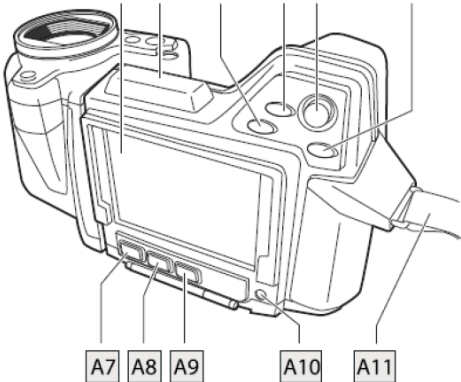
2

	Instrução de Funcionamento X-Viber	Data : 25-06-20213	
Fotografias / Figuras		Fase	Descrição
<div>9</div> 		9	<p>‘Route’ transferida. Para finalizar, desligar o X-Viber do computador e fazer a análise seguindo os pontos de medição que o aparelho indica, como indicado na figura 5.</p> <p>Ao concluir todas as medições voltar à etapa 7, para transferir os dados do aparelho para o computador e por fim fazer a respetiva análise dos valores obtidos.</p>
Elaborado por: Ana Conceição		Aprovado por:	Departamento: Manutenção


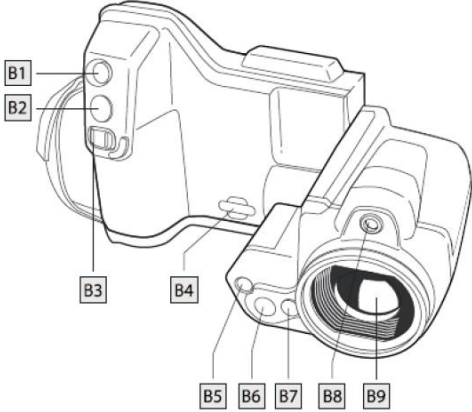
Câmara Termográfica, FLIR T440bx

	FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Descrição	
<p>Perspetiva Posterior</p> 	<p>A1 – LCD ecrã tátil</p> <p>A2 – Antena para comunicações em fios</p> <p>A3 – Botão zoom digital</p> <p>A4 – Botão programável</p> <p>A5 – Joystick: para deslocar para cima/baixo ou para a esquerda/direita para navegar pelos menus, nas caixas de diálogo e no arquivo de imagens. Empurre para confirmar as seleções.</p> <p>A6 – Botão Menu/Retroceder: prima este botão para apresentar o menu no ecrã e para retroceder para as caixas de diálogo</p>	
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção


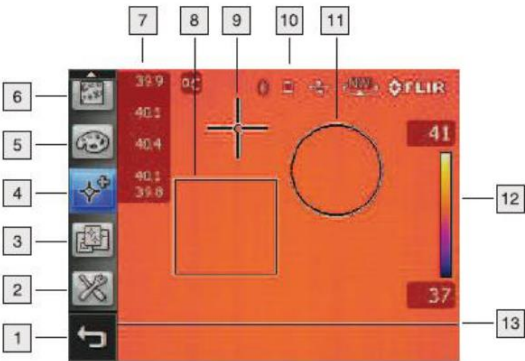
1

	FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Descrição	
<p>Perspetiva Posterior</p> 	<p>A7 – Botão de modo: prima este botão para apresentar o seletor de modo e selecionar um modo de câmara. Os modos que pode selecionar são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Câmara térmica</u>: captura imagens infravermelhos • <u>Câmara digital</u>: captura imagens visuais • <u>Fusão térmica</u>: captura imagens nas quais são apresentadas como infravermelhos e outras imagens visuais. • <u>Imagem na imagem</u>: captura uma imagem em que a parte central é apresentada como imagem de infravermelhos e a moldura externa como imagem visual. • <u>MSX</u>: captura imagens infravermelhos nas quais os contornos dos objetos estão mais definidos. <p>A8 – Botão Automático/Manual</p> <p>A9 – Botão de arquivo</p> <p>A10 – Botão Ligar/Desligar</p> <p>A11 – Correia de mão</p>	
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção

2

	FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Descrição	
<p>Perspetiva Frontal</p> 	<p>B1 – Botão do ponteiro laser: prima para ativar ponteiro.</p> <p>B2 – Este botão tem duas funções:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pré-visualizar/Guardar; 2. Focagem automática (prima o botão até meio para focar automaticamente) <p>B3 – Botão de focagem: desloque para a esquerda/direita para a câmara focar manualmente.</p> <p>B4 – Ponto de fixação da fita para o pescoço.</p> <p>B5 – Lâmpada do vídeo.</p> <p>B6 – Lente da câmara digital.</p> <p>B7 – Botão de libertação para lentes de infravermelhos adicionais.</p> <p>B8 – Ponteiro laser.</p> <p>B9 – Lente infravermelhos.</p>	
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção


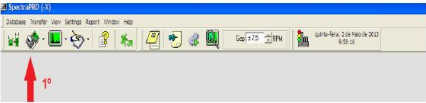


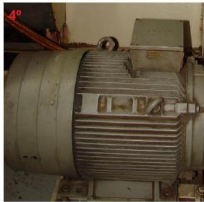

3

	FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Descrição	
<p>Elementos do ecrã</p> 	<p>1 – Botão Retroceder.</p> <p>2 – Botão Modo.</p> <p>3 – Botão Predefinições.</p> <p>4 – Botão ferramentas.</p> <p>5 – Botão Paleta.</p> <p>6 – Botão Parâmetros.</p> <p>7 – Tabela de Resultados.</p> <p>8 – Caixa de medição.</p> <p>9 – Medidor de pontos.</p> <p>10 – Ícones de estado e modo, exemplo: USB, Bateria.</p> <p>11 – Círculo de medição.</p> <p>12 – Escala de temperatura.</p> <p>13 – Linha de medição</p>	
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção






4

ANEXO E: Instruções de trabalho para análise de vibrações e termografia


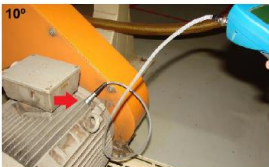



Análise de vibrações

	Instrução de Trabalho Análise Vibrações	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	1	Carregar no botão de "Transfer Route"
	2	Carregar no botão indicado para fazer a transferência dos dados do computador para o medidor
	3	Route a ser transferida. Após transferência realizar medições em campo e seguir as indicações do medidor.
	4	Medições no motor: trás e frente
	5	Medições nas chumaceiras
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção






1

	Instrução de Trabalho Análise Vibrações	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	6	Motor trás: eixo horizontal Colocar íman como mostra a imagem 6
	7	Motor trás: eixo vertical Colocar íman como mostra a imagem 7
	8	Motor frente: eixo horizontal Colocar íman como mostra a imagem 8
	9	Motor frente: eixo vertical Colocar íman como mostra a imagem 9
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção


2

		Instrução de Trabalho Análise Vibrações		Data : 25-06-20213	
Fotografias / Figuras				Fase	Descrição
   				10	Motor frente: eixo axial Colocar íman como mostra a imagem 10
				11	Nas chumaceiras as medições começam no ponto 1(lado do motor) e depois no ponto 2 (lado do ventilador)
				12	Chumaceira 1: eixo horizontal Colocar íman como mostra a imagem 12
				13	Chumaceira 1: eixo vertical Colocar íman como mostra a imagem 13
Elaborado por: Ana Conceição				Aprovado por:	
				Departamento: Manutenção	

3

	Instrução de Trabalho Análise Vibrações		Data : 25-06-20213	
Fotografias / Figuras		Fase	Descrição	
		14	Chumaceira 2: eixo horizontal Colocar íman como mostra a imagem 14	
		15	Chumaceira 2: eixo vertical Colocar íman como mostra a imagem 15	
		16	Chumaceira 2: eixo axial Colocar íman como mostra a imagem 16	
		17	Medição de temperatura no motor. Apontar o laser no ponto que a figura indica.	
Elaborado por: Ana Conceição		Aprovado por:		
		Departamento: Manutenção		


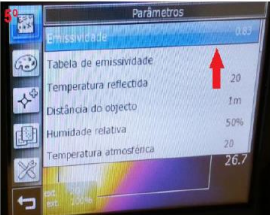

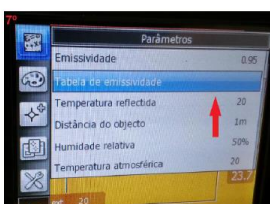
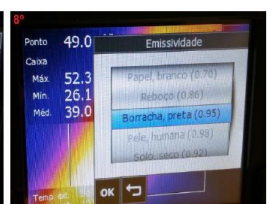
4

	Instrução de Trabalho Análise Vibrações	Data : 25-06-20213
Fotos / Figuras	Fase	Descrição
	18	Medição de temperatura na chumaceira 1. Apontar o laser no ponto que a figura indica.
	19	Medição de temperatura na chumaceira 2. Apontar o laser no ponto que a figura indica.
	20	Voltar ao programa e carregar no botão indicado, "Transfer Route"
	21	Carregar no botão indicado pela seta para transferir os dados do medidor para o computador
	22	Carregar no botão indicado pela seta para terminar transferência e para iniciar a análise dos dados
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção

Análise Termográfica

	Instrução de Trabalho FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
 	1	Antes de ligar o equipamento retirar a tampa de proteção.
 	2	De seguida, manter o botão de ligar premido alguns segundos até o ecrã ligar.
	3	Após o equipamento entrar em funcionamento carregar no botão que a seta indica para abrir o menu.
	4	Selecionar opção Parâmetros para escolher emissividade.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção





1

	Instrução de Trabalho FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
 	5	Primeira opção de escolha de emissividade.
 	6	Escolher emissividade que pretende em modo manual.
	7	Segunda opção de escolha de emissividade (valores predefinidos).
	8	Escolher emissvidades consoante os valores predefinidos da câmara.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção

2

	Instrução de Trabalho FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	9	Ajustar foco manualmente (a) ou automaticamente (b) (carregando no botão até meio).
	10	De seguida, pressionar o botão indicado para tirar a fotografia.
	11	Imagem térmica e digital gravadas automaticamente e a câmara fica pronta para tirar novas fotografias.
	12	Selecionar botão (a) para mostrar imagens tiradas. Selecionar botão (b) para voltar ao ecrã normal.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção

3

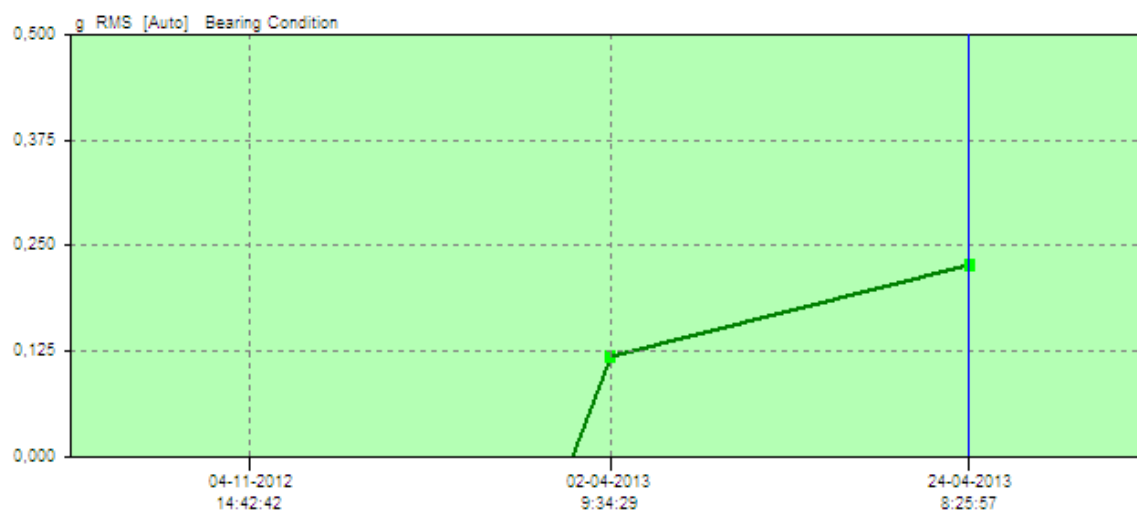
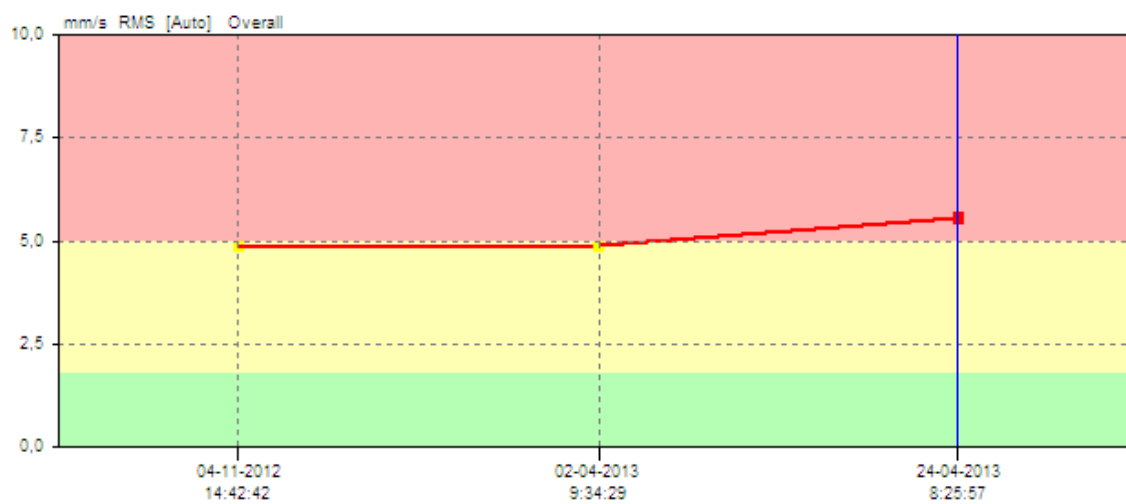
	Instrução de Trabalho FLIR T440bx	Data : 25-06-20213
Fotografias / Figuras	Fase	Descrição
	13	Botão modo: prima este e selecione um modo de câmara.
	14	Modo de câmara: (a) câmara térmica; (b) câmara digital; (c) Fusão térmica; (d) imagem na imagem; (e) MSX
	15	Para desligar a câmara, manter o botão de ligar premido alguns segundos.
Elaborado por: Ana Conceição	Aprovado por:	Departamento: Manutenção

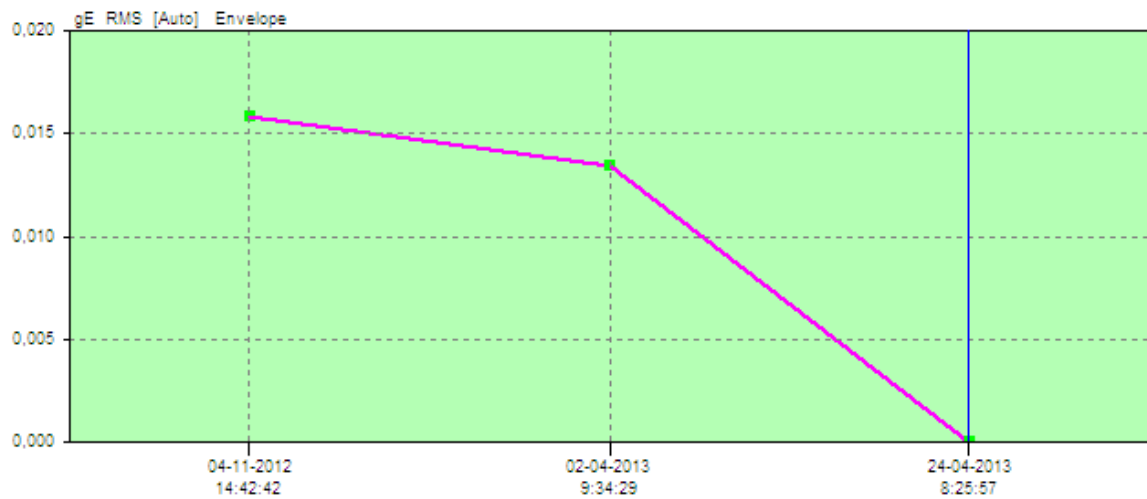
4

ANEXO F: Gráficos obtidos com a análise de vibrações

Devido à grande quantidade de gráficos obtidos por cada medição, são mostrados alguns gráficos dos pontos de medição mais críticos. Para permitir uma melhor percepção na leitura dos gráficos e espectros, para o primeiro equipamento (A-M1) serão ampliados.

Equipamento A-M1

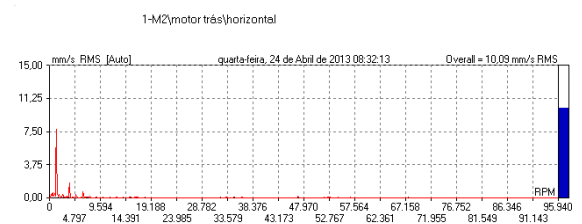
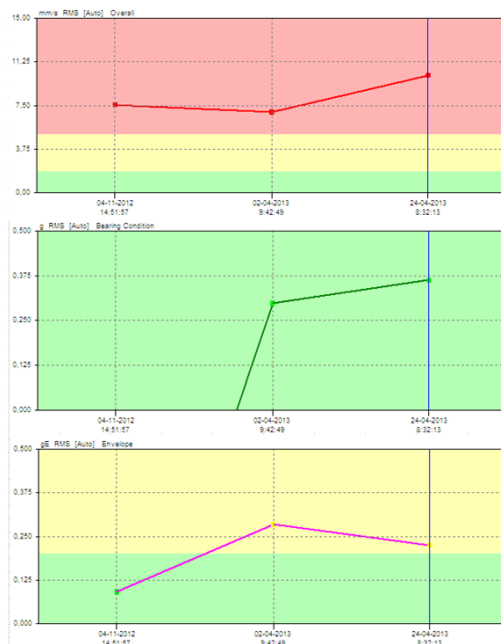




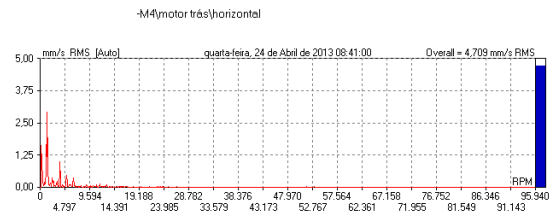
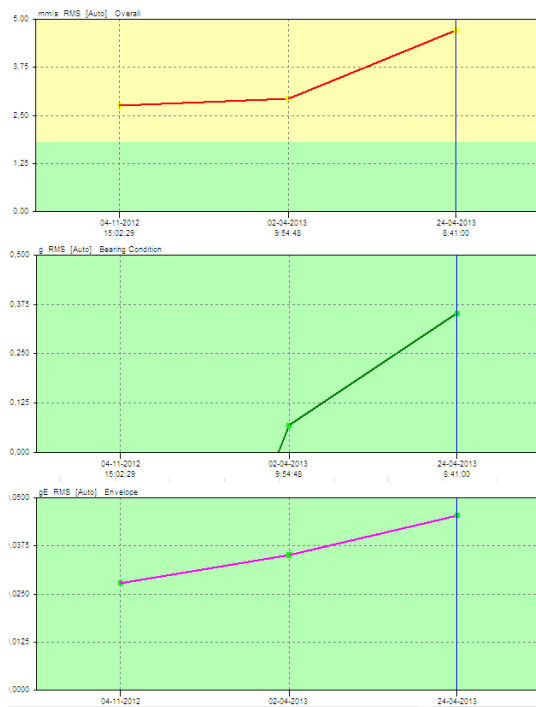
-M1\motor trás\horizontal



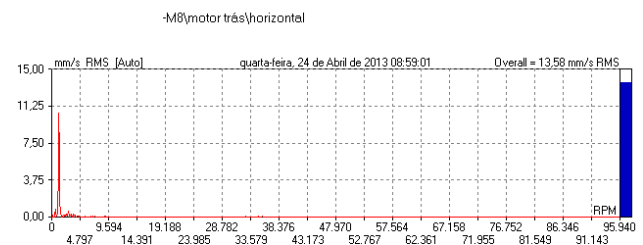
Equipamento A-M2



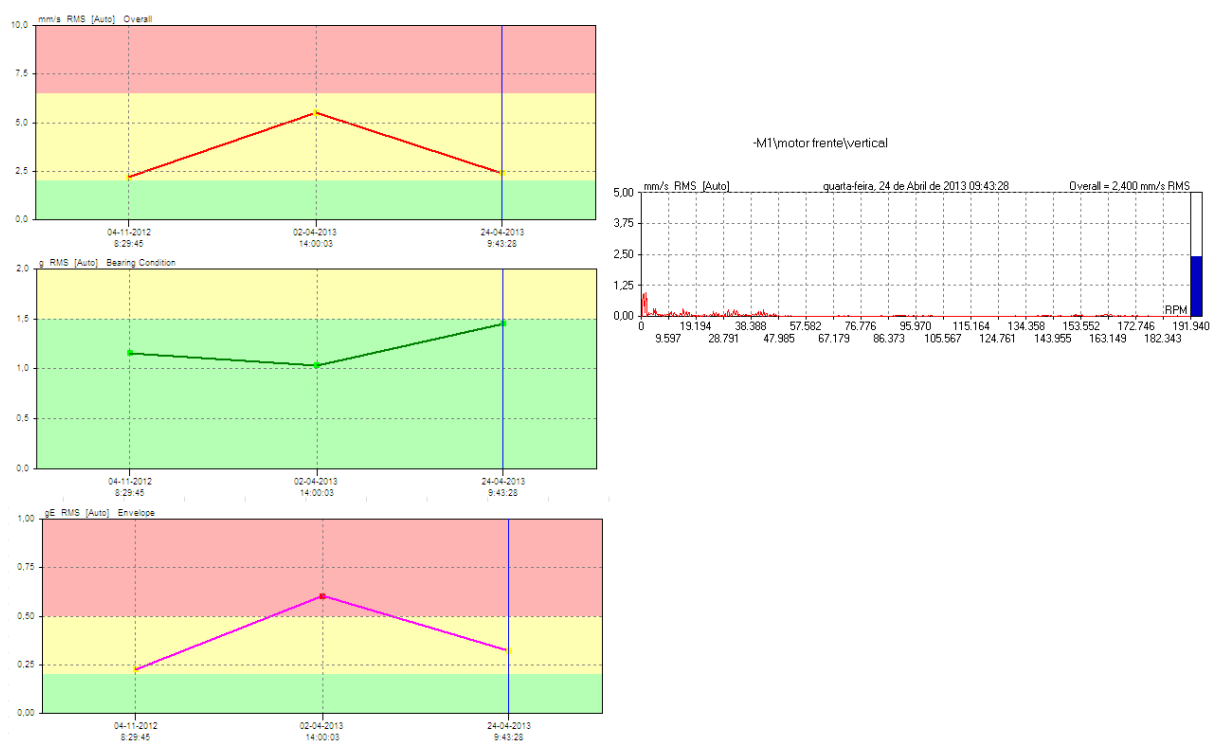
Equipamento A-M4



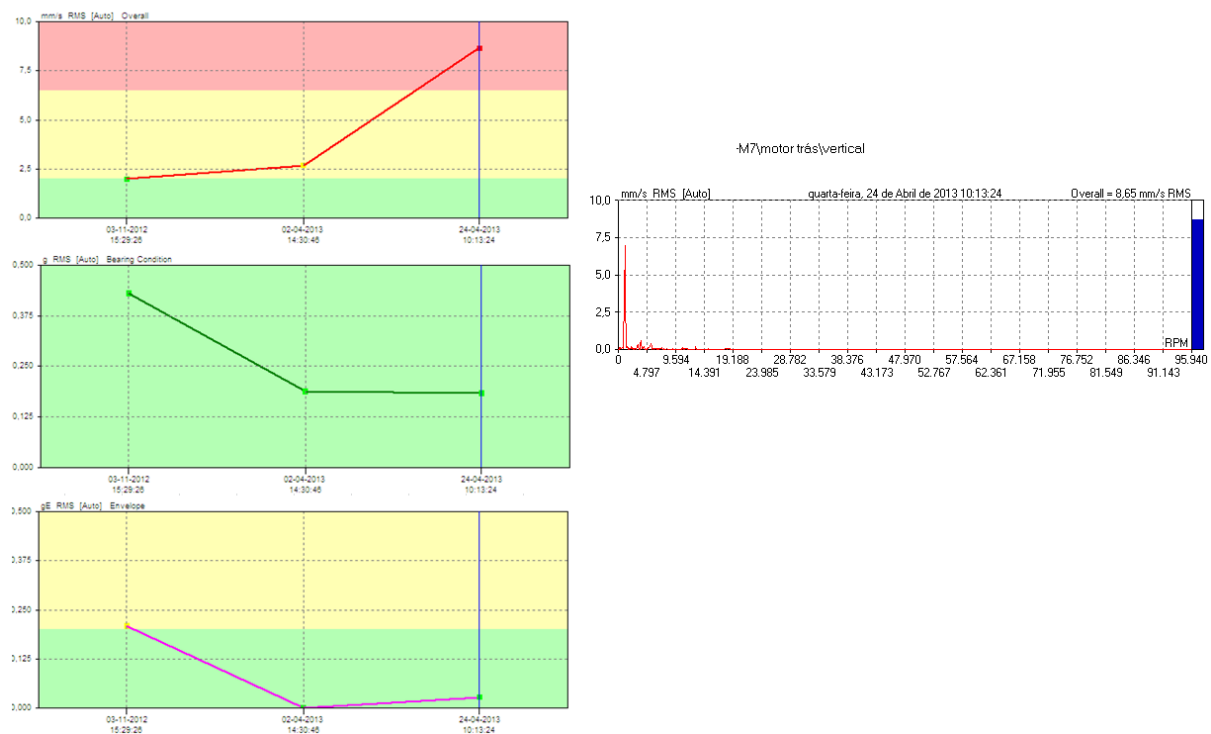
Equipamento A-M8



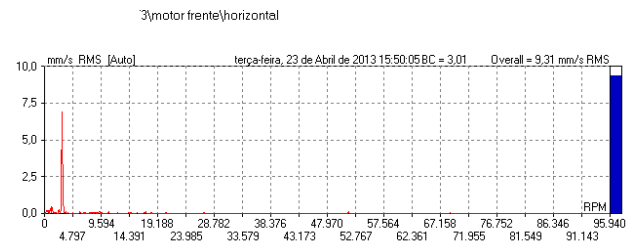
Equipamento B-M1



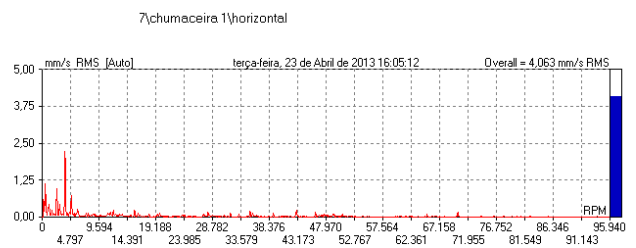
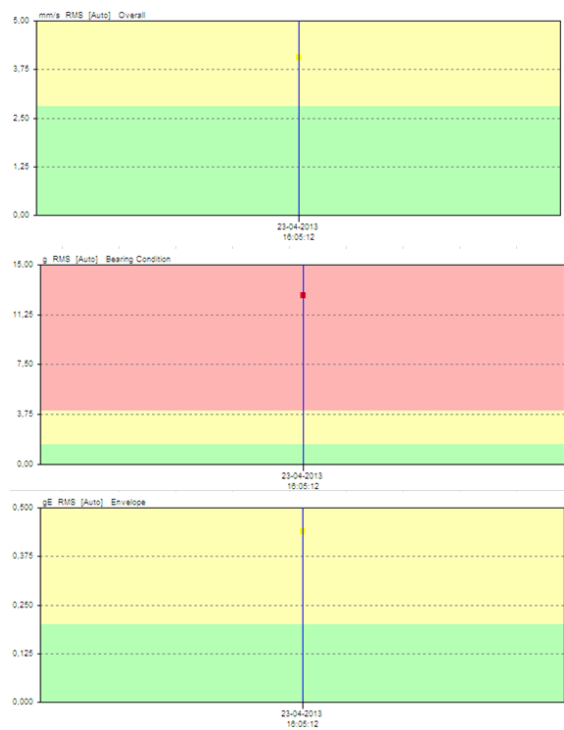
Equipamento B-M7



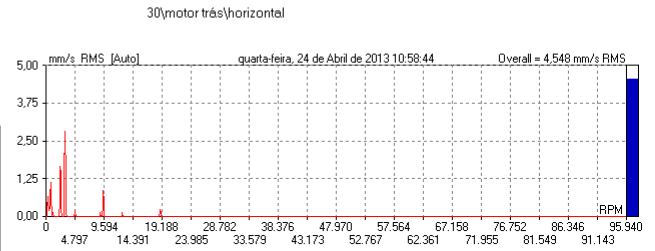
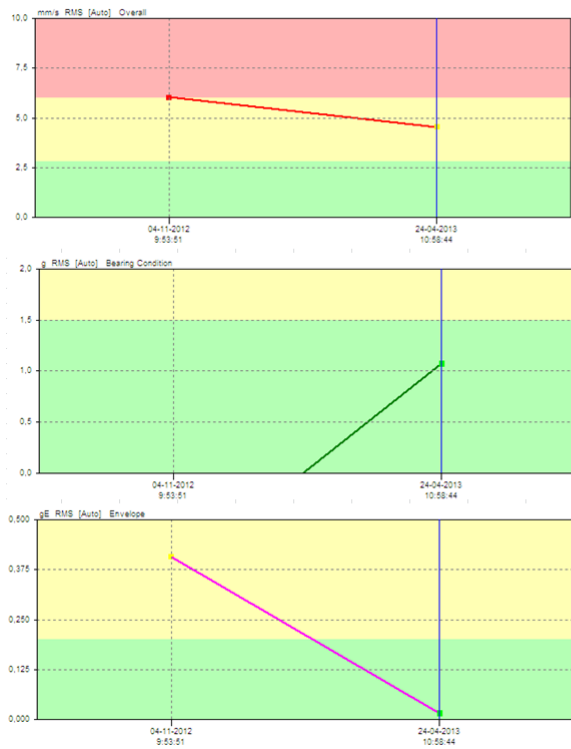
Equipamento C-3



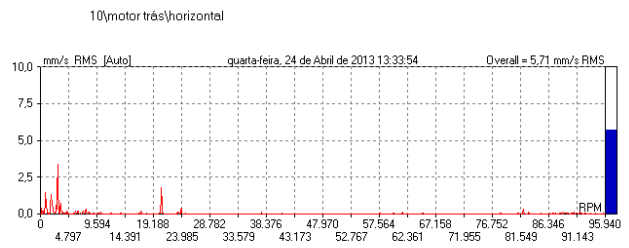
Equipamento C-7



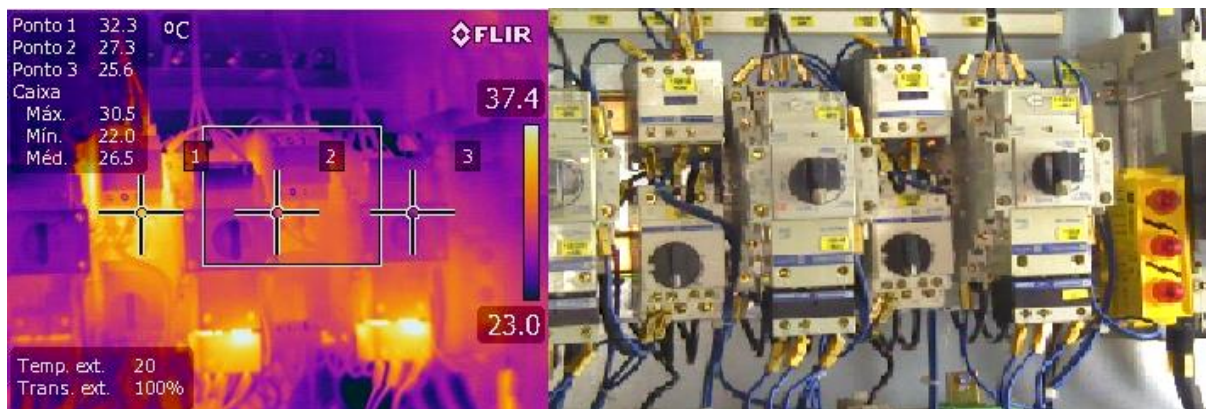
Equipamento D-030



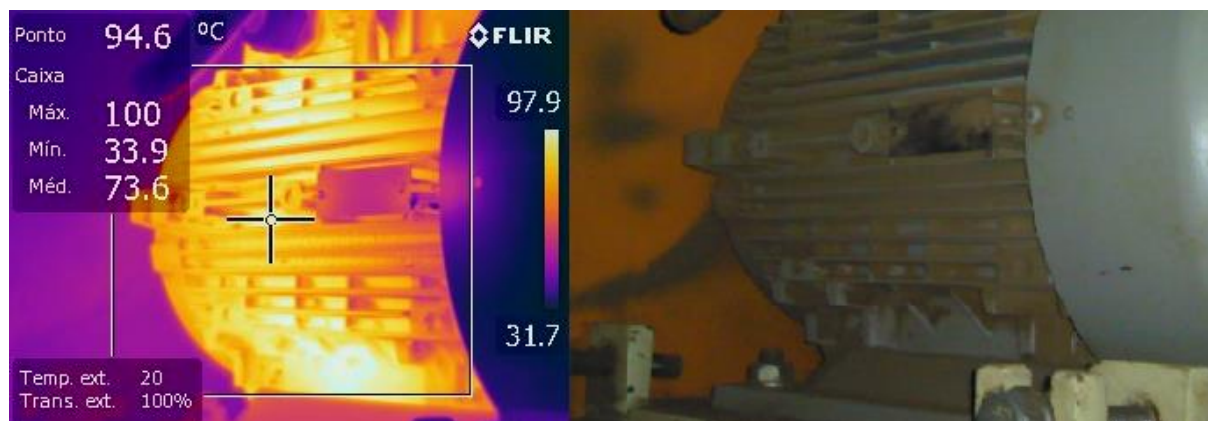
Equipamento I-10



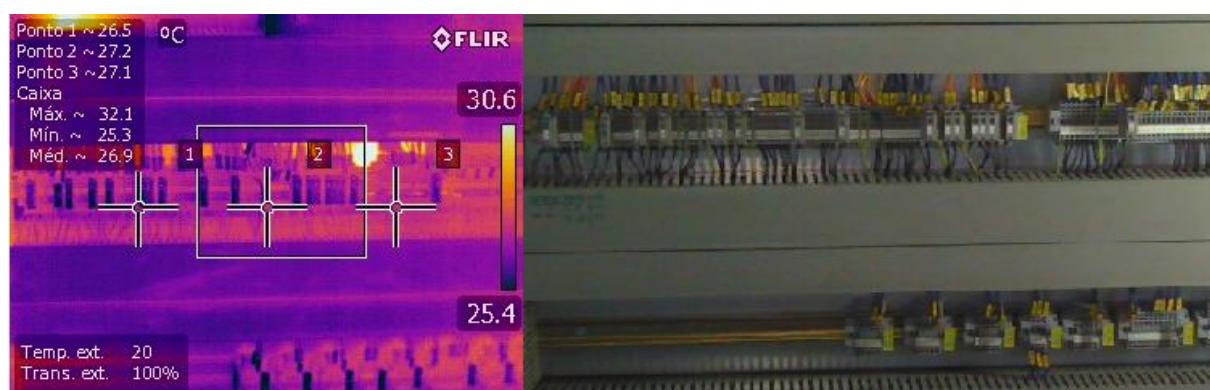
ANEXO G: Imagens obtidas com termografia



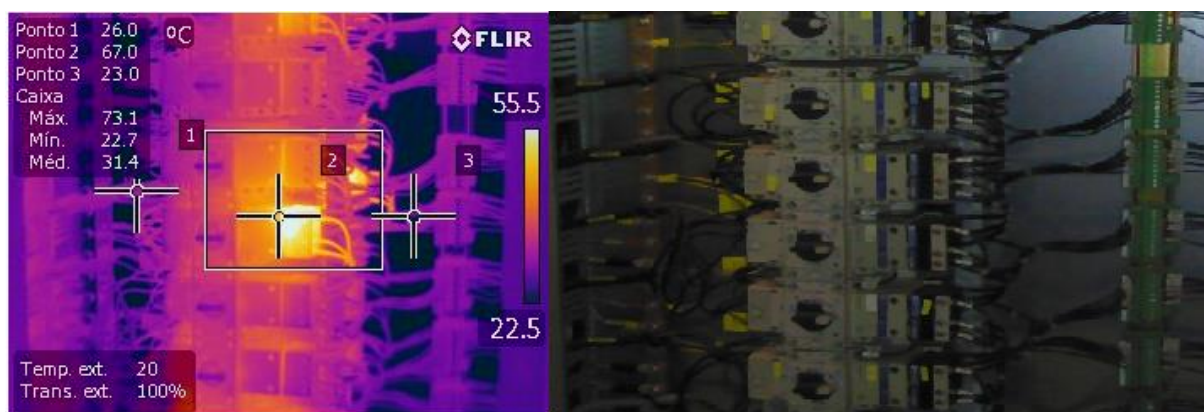
Conversores sobreaquecidos



Motor com temperatura muito elevada



Barramento com temperaturas dentro do normal



Integral do quadro elétrico com temperaturas elevadas



Imagem termográfica indica que apenas os relés que estão a cor mais clara se encontram em funcionamento

ANEXO H: Folha de Inspeções

Na página seguinte apresenta-se em tamanho ampliado a folha de inspeções de análise de vibrações aos equipamentos selecionados previamente através da implementação da manutenção condicionada.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2	Inspeções Urgentes														
3															
4															
5															
6	Ventiladores	CÓDIGO	OBSERVAÇÕES												
7	A	A-M1													
8		A-M2													
9		A-M3													
10		A-M4													
11		A-M5													
12		A-M6													
13		A-M7													
14		A-M8													
15		A1-M1													
16		A1-M2													
17															
18	B	B-M1													
19		B-M2													
20		B-M3													
21		B-M4													
22		B-M5													
23		B-M6													
24		B-M7													
25		B-M8													
26		B-M9													
27		B-M10													
28		B-M11													
29		B-M12													
30		B1-M1													
31		B1-M2													
32															
33	C	C1													
34		C2													
35		C3													
36		C4													
37		C7													
38		C81													
39		C83													
40		C700													
41															
42	D	D8													
43		D29													
44		D39													
45		DF1													
46		DF10													
47															
48	E	E000													
49		E8020													
50		E8020													
51															
52	F	F00													
53		F020													
54		F030													
55		F070													
56		F250													
57		F741													
58		F731													
59		F81													
60															
61	G	G-M3													
62															
63	H	H-M2													
64		H-M3													
65															
66	I	I8													
67		I73													
68		I70													
69		I72													
70		I71													
71		central													
72															
73	J	J05-M3													
74		J12-M3													
75		J23-M3													
76															
77															
78															
79															
80															
81															

Mais urgente

Ter atenção na próxima medição

Funcionamento normal

ANEXO I: Base de Dados

A primeira imagem refere-se à base de dados de consulta criada em Excel para simplificar a verificação dos equipamentos nas quais as análises são realizadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		<input type="checkbox"/> Vibrações						
2		<input type="checkbox"/> Termografia						
3		<input type="checkbox"/> Criticidade Processo						
4								
5								
6								
7	Código Área	ÁREA	Código L	LNHA	EQUIPAMENTO	Criticidade em relação ao Processo (1 a 5)	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	TERMOGRAFIA
8	01	01	01	01	01	1	NO	NO
9	01	01	01	01	01	1	NO	NO
10	01	01	01	01	01	1	NO	NO
11	01	01	01	01	01	1	NO	NO
12	01	01	01	01	01	1	NO	NO
13	01	01	01	01	01	1	NO	NO
14	01	01	01	01	01	1	NO	NO
15	01	01	01	01	01	1	NO	NO
16	01	01	01	01	01	1	NO	NO
17	01	01	01	01	01	1	NO	NO
18	01	01	01	01	01	1	NO	NO
19	01	01	01	01	01	1	NO	NO
20	01	01	01	01	01	1	NO	NO
21	01	01	01	01	01	1	NO	NO
22	01	01	01	01	01	1	NO	NO
23	01	01	01	01	01	1	NO	NO
24	01	01	01	01	01	1	NO	NO
25	01	01	01	01	01	1	NO	NO
26	01	01	01	01	01	1	NO	NO
27	01	01	01	01	01	1	NO	NO
28	01	01	01	01	01	1	NO	NO
29	01	01	01	01	01	1	NO	NO
30	01	01	01	01	01	1	NO	NO
31	01	01	01	01	01	1	NO	NO
32	01	01	01	01	01	1	NO	NO
33	01	01	01	01	01	1	NO	NO
34	01	01	01	01	01	1	NO	NO
35	01	01	01	01	01	1	NO	NO
36	01	01	01	01	01	1	NO	NO
37	01	01	01	01	01	1	NO	NO
38	01	01	01	01	01	1	NO	NO
39	01	01	01	01	01	1	NO	NO
40	01	01	01	01	01	1	NO	NO
41	01	01	01	01	01	1	NO	NO
42	01	01	01	01	01	1	NO	NO
43	01	01	01	01	01	1	NO	NO
44	01	01	01	01	01	1	NO	NO
45	01	01	01	01	01	1	NO	NO
46	01	01	01	01	01	1	NO	NO
47	01	01	01	01	01	1	NO	NO
48	01	01	01	01	01	1	NO	NO
49	01	01	01	01	01	1	NO	NO
50	01	01	01	01	01	1	NO	NO
51	01	01	01	01	01	1	NO	NO
52	01	01	01	01	01	1	NO	NO
53	01	01	01	01	01	1	NO	NO
54	01	01	01	01	01	1	NO	NO
55	01	01	01	01	01	1	NO	NO
56	01	01	01	01	01	1	NO	NO
57	01	01	01	01	01	1	NO	NO
58	01	01	01	01	01	1	NO	NO

Dentro da base de dados existe uma folha que possibilita consultar os relatórios de análise de vibrações para criar um acesso mais simples para o utilizador.

Como já referido, as cores permitem que se tenha uma melhor perceção do estado e condição do equipamento e da própria ordem de manutenção.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Folha de Inspeções Urgentes									
2	VENTILADORES									
3	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4	M1	M1	1	010	030	10	M3	M2	8	M3
5	M2	M2	2	020	030	20	M3	M3	9	M3
6	M3	M3	3	030	120	30			10	
7	M4	M4	4	01		40			11	
8	M5	M5	5	13		50			12	
9	M6	M6	6			60			13	
10	M7	M7	7			70			14	
11	M8	M8	8			80			15	
12	M1	M9				90			16	
13	M2	M10				100			17	
14		M11				110			18	
15		M12				120			19	
16		M1				130			20	
17		M2				140			21	
18						150			22	
19						160			23	
20						170			24	
21						180			25	
22						190			26	
23						200			27	
24						210			28	
25						220			29	
26						230			30	
27						240			31	
28						250				
29						260				
30						270				
31						280				

Em último lugar apresenta-se a imagem relativa à folha da base de dados referente à análise de termografia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Termografia						
2								
3	PT00-PP-01-11	Linha Caisa Fria						
4		Quadro Eléctrico 01MCC01						
5		Quadro Eléctrico 01MCC02						
6	PT00-PP-02-12	Linha Condicionamento Brite						
7		Quadro Cond. Brite 2020						
8		Quadro Eléctrico 01MCC01						
9	PT00-PP-02-15	Linha Condicionamento Brite/Recon						
10		Quadro Cond. Brite/Recon 2020						
11		Quadro Eléctrico 02MCC02						
12	PT00-PP-02-17	Linha Recon						
13		Quadro Eléctrico 02MCC05						
14	PT00-PP-03-13	Linha Brite						
15		Quadro Cond. Brite 050						
16		Quadro Eléctrico 02MCC04						
17		Quadro Eléctrico 01MCC01						
18	PT00-PP-03-16	Linha Brite						
19		Quadro Brite 120						
20		Quadro Cond. Brite 050						
21		Quadro Brite 80						
22		Quadro Eléctrico 03MCC02						
23	PT00-PP-04-25	Linha Armazenagem/Preparação/Eductor						
24		Quadro Eléctrico 01MCC01						
25		Quadro Eléctrico 01MCC02						
26		Quadro Eléctrico						
27	PT00-PP-05-01	Linha Detecção Emissão Partículas						